

حرکت را بر حسب  $\omega$  دریافت نمائیم. چون سرعت زاویوی برای تمام ذرات یک جسم دورانی یکسان میباشد. بنابراین

$$V = r\omega$$

$$E_K = \frac{1}{2} m v^2$$

$$E_K = \frac{1}{2} m r^2 \omega^2$$

$$E_K = \frac{1}{2} I \omega^2$$

درحالیکه  $I$  مومنٹ عطالت تمام جسم دوران کننده میباشد.

مقدار کار در حرکت دورانی (مانند حاصل ضرب قوه در فاصله) عبارت از حاصل ضرب ترک و زاویه دوران میباشد یعنی

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

برای اینکه برای یک متحرک مقدار معین انرژی حرکتی داده شود باید بالای آن یک مقدار معین کار

اجرا شود یعنی :

$$F \times d = \frac{1}{2} m v^2$$

برای اینکه برای یک جسم دوران کننده مقدار معین انرژی حرکتی داده شود باید بالای آن یک مقدار

$$\tau \theta = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad \text{کار مساوی انجام داده شود. بنابراین :}$$

## 9-4 لول دادن یک قرص و یک حلقه روی سطح مایل :

بیایید مفکوره انرژی حرکتی دورانی را برای مقایسه سرعت قرص و حلقه که کدام یکی آن به قاعده سطح مائل زودتر میرسد

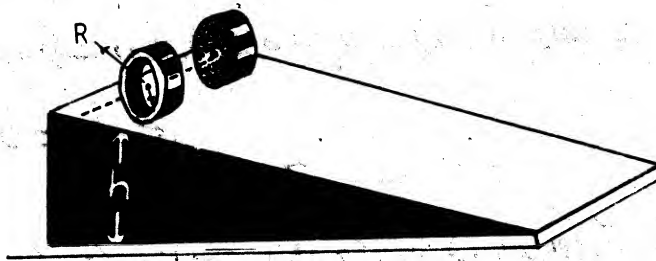
استقالت نمائیم شکل (14-4) حلقه و قرص را که در قیمت بالای سطح مائل به ارتفاع  $h$  و برای حرکت آماده اند نشان میدهد. در این سفر قرص و حلقه هر دو حرکت انتقالی دورانی را انجام میدهد.

اگر قبول کنیم که توسط اصطکاک انرژی ضایع نشده انرژی مجموعی حرکتی مرکز و حلقه در نقطه پایین سطح مایل مساوی به انرژی پوتنشیل آن به ارتفاع  $h$  روی سطح مایل می باشد بنابراین :

انرژی پوتنشیل به ارتفاع  $h$  = انرژی حرکتی انتقالی در قاعده سطح مایل + انرژی حرکتی دورانی جسم در قاعده

$$\frac{1}{2} I \omega^2 + \frac{1}{2} M V^2 = m g h \quad \text{سطح مایل}$$

در حالیکه  $v$  سرعت خطی و  $\omega$  سرعت زاویه ای و  $M$  کتله جسم لولان می باشد .



شکل (14-4)

چون برای قرص  $I = \frac{1}{2} M R^2$  و  $v^2 = R^2 \omega^2$  است پس داریم

$$M g h = \frac{1}{2} M v^2 + \frac{1}{2} I \omega^2$$

$$M g h = \frac{1}{2} M v^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} M R^2 \right) \times \omega^2$$

$$g h = \frac{1}{2} v^2 + \frac{1}{4} R^2 \omega^2$$

$$g h = \frac{1}{2} v^2 + \frac{1}{4} v^2$$

$$g h = \frac{3}{4} v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{4}{3} g h} \quad (1)$$

در اینجا دیده میشود که سرعت به کتله (M) و شعاع (R) جسم هنگام لول خوردن بستگی ندارد.  
پس قرص چوبی، قرص آهنی، قرص کوچک و قرص کلان همه به یک سرعت به پهلو می‌روند روی سطح مایل لول  
خواهد خورد.

اگر خواسته باشیم سرعت (V) را برای یک حلقه با در نظر داشت مومنت عطالت حلقه  $I = MR^2$

پیدا نمائیم در آن صورت داریم

چون  $V = R\omega$  است بنابراین داریم  $Mgh = \frac{1}{2} M V^2 + \frac{1}{2} I \omega^2$

$$Mgh = \frac{1}{2} M V^2 + \frac{1}{2} M R^2 \omega^2$$

$$gh = \frac{1}{2} V^2 + \frac{1}{2} V^2$$

$$gh = V^2$$

$$V = \sqrt{gh} \quad (2)$$

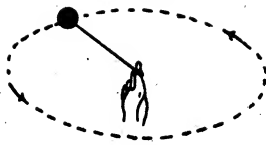
از مقایسه روابط (1) و (2) نتیجه میشود که سرعت یک قرص نسبت به سرعت یک حلقه بیشتر  
میشود یعنی قرص زودتر از عین ارتفاع بروی سطح مایل نسبت به حلقه به قاعده سطح مایل میرسد. بصورت  
عمومی جسمی با مومنت عطالت کوچک نسبت به جسم با مومنت عطالت بزرگ زودتر به قاعده سطح مایل میرسد.

#### 10-4 مومنت زاویوی :

در درس های گذشته دیدیم که تمام معادلات حرکت خطی معادلات مشابه در حرکت دورانی دارد.  
بنابراین معادله مومنتم دورانی نیز طوریکه  $mv$  مومنت خطی است عبارت از  $I\omega$  میباشد. مشابه  
قانون تحفظ مومنتم خطی آشنائی دارید. مومنت زاویوی تا زمانی که ترک عامل  $\tau$  بالای آن تغییر نخورده  
بدون تغییر باقی خواهد ماند.

برای تشریح مومنتم زاویوی تجربه دلچسپ ذیل را اجرا میکنیم. یک سنگ را به انجام یک تار بسته

نموده مانند شکل (15-4)، دوران دهید اگر بعد از زمانی قوه عامل برای حرکت دورانی این سنگ قطع گردد و به سنگ اجازه داده شود تا بصورت آزاد دوران کند. چون تار حول انگشت دور خورده و کوتاه میگردد بنابراین با کوتاه شدن تار سرعت دورانی



سنگ بیشتر میگردد. چون مومنتم دورانی ثابت است بنابراین مومنتم عطالت آن (I) باید کم شود.

## تمرین

### گروه اول سوالات تشریحی :

- ۱- در حرکت های یکپوخت دورانی با وجودیکه سرعت ثابت است چرا تعجیل وجود دارد؟
- ۲- زمان تناوب کدام زمان را میگویند. تعریف نموده و هم بگوئید که زمان تناوب به کدام واحد از زمان اندازه میگردد.
- ۳- سرعت زاویوی را معرفی کنید.
- ۴- چرا در روزهای بارانی وقتی که موتور حرکت میکند قطرات آب به شکل محاس بواسطه تأیرهای موتور به خارج پرتاب میگردد.

### در سوالات ذیل جواب درست را انتخاب کنید.

۱- قوه جذب و فرار از مرکز در حرکت دورانی از رابطه ذیل تعیین میگردد

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

- b

$$F = mg$$

- a

$$F = \frac{rv^2}{m}$$

- d

$$F = \frac{Km_1m_2}{r^2}$$

- c

۲- رابطه بین تعداد دور و زمان یک پیرود چنین است.

$$T = \frac{1}{n}$$

- b

$$T = n$$

- a

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \quad -d \quad T = \frac{2\pi}{L} \quad -c$$

۳- رابطه بین تریک  $\tau$  ، قوه و فاصله  $r$  توسط فورمول ذیل مشخص میگردد.

$$\tau = \frac{mv}{r} \quad -b \quad \tau = Fr \quad -a$$

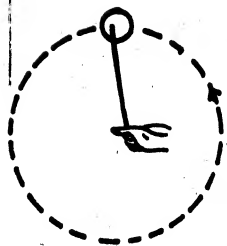
$$\tau = \frac{f}{r} \quad -d \quad \tau = F \times d \quad -c$$

۴- انرژی حرکتی و دورانی از رابطه ذیل تعیین میگردد.

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad -b \quad E_k = \frac{1}{2} mv^2 \quad -a$$

$$E_k = mc^2 \quad -d \quad E_k = mgh \quad -c$$

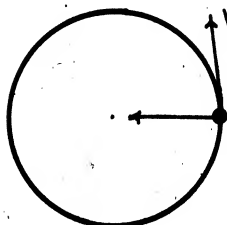
سوالات محاسبوی :



۱- یک گلوله به انجام یک تار بسته شده و در یک سطح افقی حول نقطه ثابت میچرخد اگر طول تار نصف و سرعت دورانی آن دو برابر شود قوه کشش تار چند برابر خواهد شد؟

۲- موثری با سرعت ثابت از دو گلوله ای متوالی میگذرد اگر شعاع میر

گلوله ای اول دو چند شعاع میر گلوله ای دوم باشد قوه جذب به مرکز در این دو گلوله ای متعاقب را با هم مقایسه کنید.



۳- از انجام یک تار به طول 1m مانند شکل یک سنگ

100 gr بسته شده و به سرعت 2m/Sec

یک دایره افقی در حرکت است کشش تار را پیدا کنید.

(4-16)

جواب 0,4 nt

۴- مهتاب حول زمین تقریباً در یک مدار دایروی با شعاع 382400 Km یک دوره

(۱۰۳)

۱۱- يك موتور به كتند 50 ton به سرعت 45 mil/hr روى يك منحنى به شعاع 800 ft حركت ميكند قوه مایل به مركز كه بتواند موتور را در مسيرش نگاه كند دريافت كنيد .

جواب ( 17,020 lb )

۱۲- يك استوانه به كتند 10 Kg و قطر 12 cm به اطراف يك محور به سرعت زاويوى 20 rev/Sec دوران ميكند انرژى حركى دورانى آنرا پيدا كنيد .

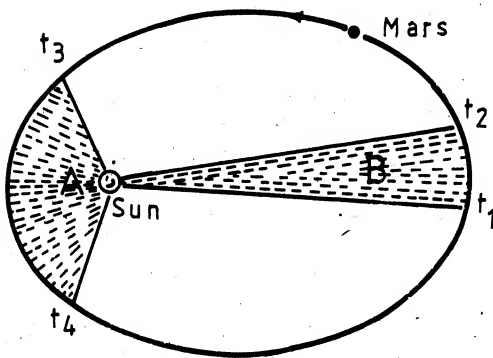
جواب ( 1,42 Jouls )

# فصل پنجم

## قانون عمومی جاذبه

### قانون جاذبه :

- عالم مشهور علم نجوم کپلر (Kepler) سه قانون ذیل را که بنام وی مسیحی است استخراج نمود .
- ۱- مسیر هر سیاره حول آفتاب یک بیضی است طوری که آفتاب در یکی از محراق های آن قرار دارد .
  - ۲- خطی که از یک سیاره به آفتاب وصل میشود حول آفتاب حین گردش سیاره در اوقات مساوی سطوح مساوی را رسم میکند .
  - ۳- نسبت مربعات اوقات دوران کامل دو سیاره کیفی مساوی به نسبت مکعبات نصف قطر اطول مسیرهای شان میباشد .



شکل ( ۱ - ۵ )

اگر  $T_1$  و  $T_2$  زمان های یک دور کامل و  $R_1$  و  $R_2$  نصف قطر اطول مسیرهای همین دو سیاره باشد در آن صورت قانون سوم کپلر را طوری ذیل میتوان خلاصه کرد . .

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3}$$

نیوتن به کمک این قوانین، قانون جاذبه را استخراج نمود از قانون دوم کپلر معلوم میشود که حرکت سیارات حول یک نقطه مرکزی صورتی گیرد یعنی حرکت سیارات مرکزی است بنا بر آن باید بالای حرکت از سیاره یک قوه عمل نماید تا بصورت مداوم جهت آن متوجه یک نقطه ثابت باشد این نقطه ثابت آفتاب میباشد. برای دریافت این قوه مسیرهای سیارات به حول آفتاب را مسیرهای دایروی قبول می کنیم ولی در حقیقت مدارهای گردش سیارات مسیرهای بیضوی میباشد مگر این بیضوی را به تقریب خیلی خوب دایره قبول کرده میتوانیم اگر فاصله یک سیاره کیفی را از آفتاب  $r$  کته آن را به  $m$  و زمان یک دور آن را به حول آفتاب به  $T$  نشان دهیم قوه مرکزی که به حول آفتاب سبب حرکت دورانی میگردد، مانند قوه جذب به مرکز که قبلاً آن را مطالعه نمودیم میباشد به این قسم:

$$F_{cp} = -m \omega^2 r \quad \dots \dots (2)$$

چون در حرکت های دورانی  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  است بنا بر آن مقدار قوه را طوری ذیل دریافت میداریم

$$F_{cp} = -m \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot r \quad \dots \dots (3)$$

چون مسیر سیارات تقریباً دایروی است. بنا بر آن قانون سوم کپلر را میتوان چنین بنویسیم

$$\frac{r_1^3}{T_1^2} = \frac{r_2^3}{T_2^2} \quad \dots \dots (4)$$

$r_1$  و  $r_2$  فواصل وسطی هر یک از سیارات از آفتاب یا به عبارت دیگر شعاع حرکت از مسیر دایروی است که بالای آن ها همین دو سیاره حرکت میکند. از این قانون نتیجه میشود که  $\frac{r^3}{T^2}$  برای هر سیاره یک مقدار ثابت میباشد این مقدار ثابت را به  $C$  نشان میدهم.

$$\frac{r^3}{T^2} = C \quad \dots \dots (5)$$

یا برای مربع زمان یک دور مکمل داریم

$$T^2 = \frac{r^3}{C}$$

با در نظر داشت معادله اخیر رابطه (3)، را چنین میتوان نوشت .

$$F_{cp} = - \frac{4\pi^2 m}{r^2} \cdot C$$

چون  $C_1 = 4\pi^2 C$  - نیز ثابت است بنا بر این داریم :

$$F_{cp} = C_1 \frac{m}{r^2} \quad (6)$$

این قوه است که آفتاب سیاره به کتله

$m$  را که به فاصله  $r$  از آن قرار دارد به طرف خودش میکشد و بنام قوه جاذبه یاد میگردد.

نظریه قانون سوم نیوتن سیارات نیز آفتاب را با قوه مساوی قوه جذب آفتاب ولی در جهت

مخالف جذب میکنند یعنی هرگاه  $M$  کتله آفتاب ،  $r$  فاصله آن از سیاره باشد در آن صورت قوه جاذبه سیاره بالای آفتاب مستقیماً متناسب به کتله آفتاب یعنی  $M$  و معکوساً متناسب به مربع

فاصله از سیاره میباشد. اگر این قوه را به  $f$  نشان دهیم

$$F = K \frac{M}{r^2} \quad (7)$$

در حالیکه  $K$  ضریب تناسب بوده و برای سیارات مختلف یکسان میباشد . چون

قوه  $F_{cp}$  و  $F$  از نظر مقدار با هم مساوی اند بنابراین داریم :

$$F_{cp} = f$$

از مقایسه معادلات اخیر داریم .

$$C_1 \frac{m}{r^2} = K \frac{M}{r^2}$$

$$K \cdot M = C_1 m$$

$$\frac{M}{m} = \frac{C_1}{K} \quad 8$$

چون در یک تناسب خارج قسمت صورت؛ با هم و مخرج؛ با هم با یکدیگر مساوی است  
بنابراین در معادله (8)،  $C_1$  متناسب به  $M$  و  $K$  متناسب به  $m$  با این تناسب می  
باشد یعنی

$$C_1 = G \cdot M$$

$$K = G \cdot m \dots \dots \dots (9)$$

$G$  یک ثابت تناسب جدید می باشد. حال قوه ایکه از طرف آفتاب بالای سیاره عمل  
میکند و یا قوه ایکه سیاره بالای آفتاب عمل میکند از مقایسه روابط 6، 7 و 9 چنین  
بدست می آید.

$$F_{cp} = F = C_1 \frac{m}{r^2} = K \frac{M}{r^2}$$

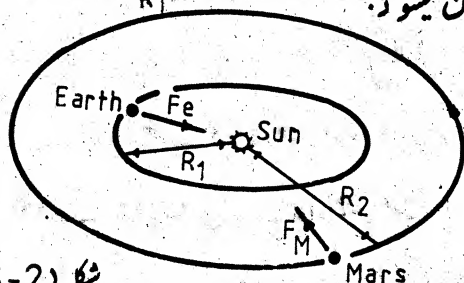
با گذاشتن قیمت های  $K$  و  $C_1$  داریم:

$$F_{cp} = F = G \frac{Mm}{r^2} = \frac{GmM}{r^2}$$

و یا بصورت عموم

$$F_g = G \frac{mM}{r^2} \dots \dots \dots (10)$$

معادله اخیر از حرکت سیارات بدور آفتاب حاصل گردیده برای جمیع اجسام قابل تطبیق می  
باشد. رابطه که قانون نیوتن را از این میداد چنین بیان میشود.



شکل (2-5)

قوه جاذبه بین دو کتله  $M$  و  $m$   
سقیماً متناسب به کتله های آن و معکوساً  
متناسب به مربع فاصله بین نقاط مرکز ثقل  
آن می باشد. جهت قوه میتواند یا

$$F_M = 4\pi^2 \frac{cmM}{R_2^2}$$

(10-9)

بنابر آن نوشته کرده می‌توانیم

$$\text{تغییر سرعت} = \frac{\text{مدت تغییر سرعت}}{\text{تجهیل}}$$

اگر سرعت یک جسم لحظه به لحظه رو به افزایش باشد آن جسم دارای شتاب مثبت می‌باشد.

## 6-1 تجهیل متوسط و تجهیل لحظوی

وقتی که یک موتور از ایستادگاه خود شروع به حرکت می‌کند اولاً با سرعت کمتر شروع بعداً سرعت آن زیاد و زیادتری گردد. چنان یک حرکت را که در آن سرعت متحرک زیاد شده برود حرکت تجهیلی نامیده میشود. میدانید که سرعت یک کمیت وکتوری است و مقدار نیز دارد بناءً تغییر در سرعت میتواند تنها تغییر در جهت و یا تغییر در مقدار و یا تغییر در جهت و در مقدار باشد تغییر سرعت در واحد وقت را تجهیل می‌گویند.

تجهیل نیز یک کمیت وکتوری است چون درین فصل ما حرکت مستقیم الخط را مطالعه می‌کنیم بناءً جهت تغییر نمی‌خورد و تمام تغییرات سرعت درین فصل تغییرات در مقدار می‌باشد. اگر کدم شخص در سیت اول یک موتور نشسته و سرعت سنج موتور را زیر نظر داشته باشد اگر سرعت سنج موتور هیچ تغییر نکند گویند این موتور دارای سرعت یکنواخت یا ثابت می‌باشد.

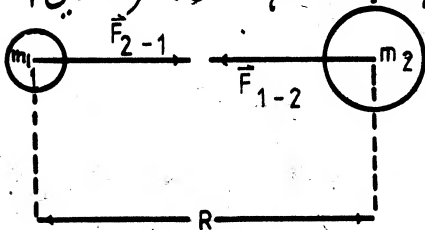
اگر سرعت سنج در طول راه مقدارهای مختلف را نشان دهد می‌گویند این حرکت تجهیلی است. هرگاه یک شخص Speed meter را خوانده و در زمان  $t_1$  سرعت آن  $v_1$  و در زمان  $t_2$  سرعت آن  $v_2$  باشد. اگر موتور به طرف شمال در حرکت باشد سرعت های آن در زمان های  $t_1$  و  $t_2$  و  $v_1$  و  $v_2$  بوده و در شکل (7-1) نشان داده شده است.

دیده می‌شود که تغییر سرعت در زمان  $t_2 - t_1$  عبارت از  $v_2 - v_1$  میباشد بناءً تجهیل متوسط که از تغییرات سرعت در واحد زمان بوجود می‌آید قرار ذیل است:

$$a_{av} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

از  $m$  به طرف  $M$  و یا از  $M$  به طرف  $m$  باشد.

نظر به این قانون وزن جسم عبارت از قوه جاذبه زمین است که آن جسم را به طرف خود کش میکند. تعجیل الی مرکز که محتاب به طرف زمین داشته میباشد و همین تعجیل سبب میشود تا محتاب را روی یک دایره به اطراف زمین در حرکت نگاهدارد چیزی دیگری جز اثر قوه جاذبه زمین نیست. پس نظر به معادله (3)، مقدار تعجیل الی مرکز مهتاب را که جهت آن به طرف زمین است طوری ذیل دریافت میکنیم.



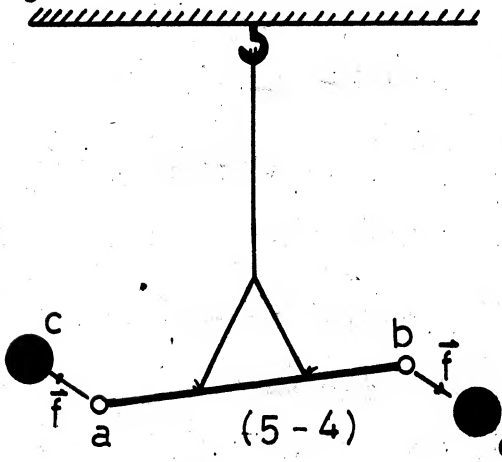
$$a_m = \frac{4 \pi^2 r}{T^2} \quad (11)$$

چون فاصله وسطی مهتاب از مرکز زمین  $r = 383930 \text{ Km}$  و زمان یک دور مهتاب  $T = 2360580 \text{ Sec}$  است بنا بر آن داریم:

$$a_m = \frac{4 \pi^2 \times 383930 \times 10^3 \text{ m}}{(2360580 \text{ Sec})^2}$$

$$a_m = 0.272 \frac{\text{cm}}{\text{Sec}^2}$$

ثابت  $G$  قوه جاذبه بین دو جسم را بصورت تجربی کاوندیش از ترتیبات مخصوص که در شکل



(5-4) دیده میشود چنین دریافت نموده است.

دو گلوله کوچکی در انجام یک میلد باریک محکم گردیده اند

این میلد باریک از یک سیم به شکل کاملاً افقی آویزان

گردیده است. سه گاه دو گلوله سربی دیگر از جواب

مختلف به گلوله های که در انجام های میلد قرار دارند

نزدیک شوند در آن صورت گلوله های یکدیگر را جذب

فواحد کرد یعنی (گلوله C گلوله a را و گلوله d گلوله b را جذب می نماید) و سیستم عمودی تاب میخورد از این تاب میتوان قوه جاذبه کتله را تعیین کرد. چون درین تجربه کتله و فواصل بین مراکزشان معلوم اند بنابراین از معادله (10)، قیمت ثابت جهانی G را بدست آورده میتوانیم.

$$G = 0,667 \times 10^{-10} \frac{\text{m}^3}{\text{Kg} \cdot \text{Sec}^2}$$

$$G = 0,667 \times 10^{-10} \frac{\text{nt m}^2}{\text{Kg}^2}$$

و یا

با تبدیل این قیمت G در سیستم C, G, S قیمت داریم که

$$G = 6,67 \times 10^{-8} \text{ dyn cm}^2 \text{ gr}^{-2}$$

یعنی کتله  $m_1 = 1 \text{ gr}$  یک کتله  $m_2 = 1 \text{ gr}$  را که به فاصله  $r = 1 \text{ cm}$  از هم قرار دارند باشند بایک قوه  $6,67 \times 10^{-8} \text{ dyn}$  جذب میکند.

## 2-5 تطبیق قانون جاذبه :

به کمک قانون جاذبه میتوان کتله زمین و غیره جسم سادی را محاسبه نمود هرگاه M کتله زمین و m کتله یک جسم کیفی و r فاصله بین مراکز ثقل این دو جسم باشد، اگر کدام جسمی بالای سطح زمین و یا در نزدیکی سطح زمین قرار داشته باشد در آن صورت فاصله r تقریباً مساوی به شعاع زمین بوده یعنی  $r = 6400 \text{ Km}$  میباشد. بناً قوه جاذبه زمین که توسط آن کتله m را به خودش میکشد چنین میباشد.

$$F_G = m \frac{GM}{r^2} = ma \dots \dots \dots (12)$$

از اینجا کتله m دارای تعجل (13)  $a = \frac{GM}{r^2}$  میباشد.

از معادله اخیر دیده میشود تعجیل که یک جسم با کتله  $m$  از خاطر وزن خود و یا قوه جاذبه زمین به خود اختیار میکند ثابت بوده مستقل از کتله  $m$  و غیره مشخصات آن باشد. بناً این تعجیل برای همه اجسام یکسان و ثابت میباشد. پس  $a$  «معادله (3)» جز تعجیل جاذبه ( $g$ ) چیزی دیگری باشد. پس قوه جاذبه مساوی به وزن جسم است یعنی:

$$F_g = mg = w$$

$$a = \frac{G M}{r^2} = g$$

از اینجا میتوان گفت که همه اجسام با کتله های مختلف به سرعت های مساوی  $V = gt$  سقوط خواهند کرد اگر از مقاومت هوا صرف نظر شود.

اکنون از رابطه اخیر استفاده نموده کتله زمین را به آسانی پیدا کرده میتوانیم. چون در رابطه اخیر  $g$ ،  $r$  معلوم اند بنابراین از رابطه اخیر  $M$  چنین حاصل میگردد.

$$M = 5,98 \times 10^{27} \text{ gr}$$

در صورتیکه زمین کروی فرض شود با در نظر داشت  $r = 6400 \text{ Km}$  حجم زمین قیمت ذیل را میگیرد

$$V = 11 \times 10^{27} \text{ cm}^3$$

حالا گاه کثافت زمین را  $\rho$  بنامیم

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{5,98 \times 10^{27} \text{ gr}}{11 \times 10^{27} \text{ cm}^3}$$

$$\rho = 5,52 \text{ gr/cm}^3$$

چون کثافت وسطی مواد روی زمین  $2,5 \text{ gr/cm}^3$  اندازه شده بناءً از نتیجه فوق گفته میتوانیم که مواد داخل زمین اجسام ثقیل بوده ممکن است مواد داخل آن از نیکل و آهن تشکیل شده باشد.

به همین ترتیب فوق میتوان گفت آفتاب را نیز حساب کرد. چون قوه جذب به مرکز ا طرف آفتاب که بالای زمین وارد میشود توسط رابطه ذیل مشخص میگردد.

$$F_{cp} = m \omega^2 r = m \frac{4 \pi^2}{T^2} r$$

$r$  فاصله بین زمین و آفتاب، و  $T$  زمان یک دور مکمل زمین حول آفتاب و  $m$  کتله زمین میباشد. از قانون نیوتن میدانیم که این قوه مساوی به قوه جاذبه آفتاب میباشد که زمین را به خود می کشاند. یعنی

$$F_g = G \frac{m M}{r^2} = m \frac{4 \pi^2}{T^2} r = F_{cp}$$

$M$  کتله آفتاب است و آنرا میتوانیم بدست آوریم

$$M = \frac{4 \pi^2}{G} \cdot \frac{r^3}{T^2}$$

چون فاصله زمین تا آفتاب  $r = 1,495 \times 10^{13} \text{ cm}$ ،  $G = 6,67 \times 10^{-8} \text{ dyn-cm}^2 \cdot \text{gr}^{-2}$  اند  
بناءً برای کتله آفتاب داریم:

$$M = 7,98 \times 10^{33} \text{ gr}$$

از مقایسه کتله آفتاب با زمین نتیجه میشود که کتله آفتاب 300,000 مرتبه بزرگتر از

کننده زمین میباشد بدین ترتیب میتوان کتدهای همه سیارات را محاسبه نمود.

OBJECT	MASS (KILOGRAMS)	RADIUS (METERS)	PERIOD OF ROTATION (SECONDS)	MEAN RADIUS OF ORBIT (METERS)	PERIOD OF REVOLUTION (SECONDS)
Sun	$1.98 \times 10^{30}$	$6.95 \times 10^8$	$2.14 \times 10^6$	—	—
Mercury	$3.28 \times 10^{23}$	$2.57 \times 10^6$	$7.60 \times 10^5$	$5.79 \times 10^{10}$	$7.60 \times 10^6$
Venus	$4.83 \times 10^{24}$	$6.31 \times 10^6$	$2.6 \times 10^5(?)$	$1.08 \times 10^{11}$	$1.94 \times 10^7$
Earth	$5.98 \times 10^{24}$	$6.38 \times 10^6$	$8.61 \times 10^4$	$1.49 \times 10^{11}$	$3.16 \times 10^7$
Mars	$6.37 \times 10^{23}$	$3.43 \times 10^6$	$8.85 \times 10^4$	$2.28 \times 10^{11}$	$5.94 \times 10^7$
Jupiter	$1.90 \times 10^{27}$	$7.18 \times 10^7$	$3.54 \times 10^4$	$7.78 \times 10^{11}$	$3.74 \times 10^8$
Saturn	$5.67 \times 10^{26}$	$6.03 \times 10^7$	$3.60 \times 10^4$	$1.43 \times 10^{12}$	$9.30 \times 10^8$
Uranus	$8.80 \times 10^{25}$	$2.67 \times 10^7$	$3.88 \times 10^4$	$2.87 \times 10^{12}$	$2.66 \times 10^9$
Neptune	$1.03 \times 10^{26}$	$2.48 \times 10^7$	$5.69 \times 10^4$	$4.50 \times 10^{12}$	$5.20 \times 10^9$
Pluto	?	?	?	$5.9 \times 10^{12}$	$7.82 \times 10^9$
Noon	$7.34 \times 10^{22}$	$1.74 \times 10^6$	$2.36 \times 10^6$	$3.8 \times 10^8$	$2.36 \times 10^6$

### 3- 5 پوتنشیل جاذبوی :

انرژی حرکی مهتاب و یا کدام قمر مصنوعی دیگر اگر به یک سرعت زیاد در زمین حرکت میکند به آسانی میتوان دریافت کرد. ولی این جسم دارای انرژی پوتنشیل نیز میباشد بصورت عموم دو جسم به کتدهای  $M$  و  $m$  را در نظر گرفته و مقدار کاری را که برای دور ساختن آنها از یک دیگر در مقابل قوه جاذبه بین آنها لازم است حساب می کنیم.

شکل ذیل کتدهای  $M$  و  $m$  را نشان میدهد. حال میخواهیم مقدار کاری را که برای انتقال کتده  $m$  از  $a$  تا  $f$  لازم است را در نظر داشت تقسیم نمودن فاصله بین  $a$  و  $f$  به فواصل کوچک دریافت نمائیم.

$$F_a = G \frac{mM}{r_a^2}$$

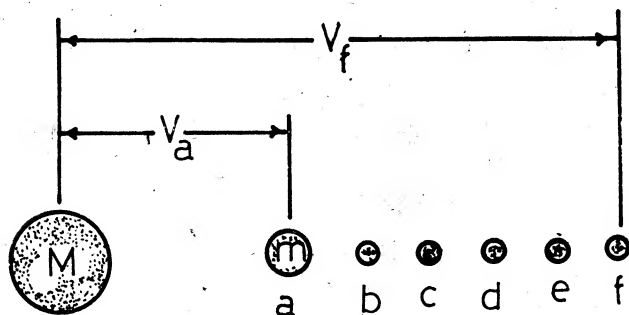
• قوه جاذبه وقتی که  $m$  در  $a$  باشد مساوی است به.

در حالیکه  $G$  ثابت جاذبوی کاوندیش است .  
همچنان قوه جاذبه وقتی که کند  $m$  در  $b$  باشد عبارت است از:

$$F_b = G \cdot \frac{mM}{r_b^2}$$

هرگاه اوسط دو قوه فوق را گرفته و در فاصله بین  $a$  و  $b$  ضرب نمایم برای دریافت  
اوسط قوه را از طرف اوسط هندسی استفاده می نمایم . طوری که اولاد دو قوه فوق را با هم ضرب  
و بعد جذری گیریم . از این طریق خواهیم یافت که قوه وسطی بین نقاط  $a$  و  $b$  که آن را به  
 $F_{ab}$  نشان می دهیم عبارت است از:

$$F_{ab} = \sqrt{\frac{GmM}{r_a^2} \cdot \frac{GmM}{r_b^2}} = \frac{GmM}{r_a \times r_b}$$



(5-5)

از طرف دیگر کار جبرائه بالای کند  $m$  از  $a$  تا  $b$  مساوی است به:

$$\begin{aligned} W_{ab} &= F_{ab} (r_b - r_a) \\ &= \frac{GMm}{r_a \times r_b} (r_b - r_a) \\ &= GMm \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) \end{aligned}$$

هم چنان کاریکه برای انتقال کتده m از b تا c ضرورت است عبارت است از:

$$W_{bc} = GMm \left( \frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_c} \right)$$

و کاریک نطاط c و d برای کتده مذکور عبارت است از:

$$W_{cd} = GMm \left( \frac{1}{r_c} - \frac{1}{r_d} \right)$$

به همین ترتیب تا اخیر دوام داده تا اینکه به نقطه f برسیم. کار مجموعی از حاصل جمع این کارهای کوچک بدست میآید. چون  $GMm$  در تمام از روابط فوق مشترک بوده بناءً اولاً افاده ای داخل قوس را جمع بعداً این مجموعه را در  $GMm$  ضرب می نمائیم

$$\begin{aligned} & \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \\ & + \frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_c} \\ & + \frac{1}{r_c} - \frac{1}{r_d} \\ & + \frac{1}{r_d} - \frac{1}{r_e} \\ & + \frac{1}{r_e} - \frac{1}{r_f} \\ & \hline & = \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_f} \end{aligned}$$

الکون میتوان نوشت که:

$$W_{af} = GMm \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_f} \right)$$

با در نظر داشت رابطه اخیر می‌توانیم مقدار کاری که برای انتقال  $m$  از کتد  $M$  به فاصله  $r_a$  و یا هر فاصله دیگر  $r_f$  پیدا کنیم.

وقتی که کتد  $m$  دور شده میرود  $r_f$  نیز اید کرده بزرگ می‌گردد بنابراین  $\frac{1}{r_f}$  خیلی کوچک شده. زمانی که  $r_f = \infty$  می‌گردد  $\frac{1}{r_f}$  به شکل  $\frac{1}{\infty}$  یا مساوی به صفر می‌گردد لذا مقدار کاری که برای انتقال  $m$  از  $a$  به فاصله لایتناهی لازم است از رابطه ذیل بدست می‌آید.

$$W_{a\infty} = \frac{G m M}{r_a}$$

#### 4-5 سرعت گریز :

سرعت گریز از زمین تقریباً  $11,263 \text{ Km/sec}$  میباشد که میتواند مانده سرعت یک مری که از سطح زمین فیر می‌گردد و از قوه جاذبه زمین بی‌براید تعریف شود. چون جاذبه زمین تا بی‌نهایت ادامه دارد مقصد از سرعت گریز یک مری ظاهراً همان سرعت است که مری بعد از فیر شدن از زمین برای رسیدن به یک فاصله بی‌نهایت در فضا بکار دارد. از دس های گذشته میدانیم وقتی که یک جسم از سطح زمین به فاصله بی‌نهایت انتقال میشود کار جبر شده توسط این عملیه از رابطه ذیل بدست می‌آید.

$$W = G \frac{Mm}{r_e}$$

در اینجا  $r_e$  فاصله جسم از مرکز زمین میباشد و هرگاه به یک مری این مقدار انرژی داده شود قبل از اینکه تمام انرژی حرکتی آن به انرژی پو تشیل تبدیل شود به بی‌نهایت خواهد رسید (یعنی مری سرعت گریز از زمین را خواهد داشت) ولی مری به هر سرعت کمتر از سرعت گریز توقف نموده و سقوط خواهد کرد. بناءً با در نظر داشت تساوی انرژی حرکتی و پو تشیل

جسم سرعت گریز آن را پیدا کرده میتوانیم ؛  
یعنی :

$$P_E = K_E$$

$$\frac{GMm}{r_e} = \frac{1}{2} mv^2$$

$$v^2 = \frac{2GM}{r_e}$$

طبعاً M عبارت از کتله زمین است که مساوی به  $5,98 \times 10^{27}$  gr میباشد

چون کتله m در رابطۀ اخیر شامل نیست پس سرعت گریز برای همه اجسام چه خورد و چه کلان باشد یکسان میباشد. قبلاً دیدیم که شعاع  $r_e$  زمین  $6,37 \times 10^8$  cm و ضریب ثابت گرانش در سیستم C.G.S  $6,67 \times 10^{-8}$  میباشد که اگر در رابطۀ اخیر گذاشته شود

خواهیم یافت که :

$$v^2 = \frac{2 \times 6,67 \times 10^{-8} \times 5,98 \times 10^{27}}{6,37 \times 10^8} = 12,25 \times 10^{11} \frac{\text{cm}^2}{\text{Sec}^2}$$

$$v = 1,1 \times 10^6 \text{ cm/Sec}$$

$$v = 11, \text{ km/Sec}$$

$$v = 11, \text{ x (mile/Sec)}$$

$$v = 6,96 \text{ mile/Sec}$$

سرعت گریز سیارات دیگر از سرعت گریز انیک برای زمین مطالعه کردیم یعنی  $6,98 \frac{\text{mile}}{\text{Sec}}$

فرق دارد که باید برای هر کدام بطور جداگانه حساب شود.

سرعت یک قمر چه طبیعی باشد و یا مصنوعی بگردد مدار آن کمتر از سرعت گریز آن میباشد

ولی بین سرعت گریز و سرعت مدار یک رابطه موجود میباشد از معلومات گذشته میدانیم قوه ایک یک قمر را به گرد مدار آن نگاه میدارد مساوی به قوه جاذبه سیاره است که قمر را گرد آن میچرخاند لذا برای یک قمر زمین که کتله آن  $m$  و شعاع مدار آن  $r$  است اگر قوه جذب به مرکز و مایل به مرکز آن با هم مساوی قرار دهیم میتوان نوشت .

$$\frac{GmM}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$v_{orb}^2 = \frac{GM}{r}$$

چون قبلاً یا مستقیم که سرعت گریز از مرکز زمین  $v_{esc}^2 = \frac{2GM}{r}$  میباشد از مقایسه این دو رابطه مربع سرعت گریز دوچند مربع سرعت مدار میباشد .

$$v_{esc}^2 = 2v_{orb}^2$$

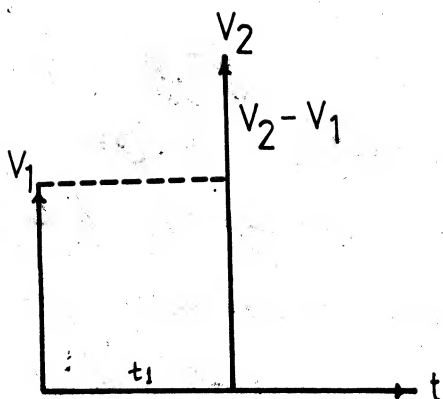
$$v_{esc} = \sqrt{2} v_{orb}$$

این است سرعت گریز یک قمر در مدار به فاصله  $r$  از مرکز زمین که تقریباً 1,414 برابر سرعت دوران آن به گرد مدار مذکور میباشد

## تمرینات

### سوالات تکمیلی :

- ۱- عالم مشهور بنام ( ) سه قانون عمومی راجع به ( ) بیان کرد
- ۲- قوه جاذبه بین دو کتله مستقیماً متناسب به ( ) و معکوساً متناسب به ( ) میباشد .
- ۳- به کمک قانون جاذبه میتوان کتله ( ) و غیره ( ) را پیدا کرد



شکل ( 6 - 1 )

وکتورهای  $v_1$  و  $v_2$  سرعت های موتور  
را در زمان های  $t_1$  و  $t_2$  نشان میدهد  
بنابراین  $v_2 - v_1$  تغییر سرعت در زمان  
 $t_2 - t_1$  میباشد.

واحدهای تعجیل عبارت از  $\frac{m}{sec^2}$  ،  $\frac{cm}{sec^2}$   
یا  $\frac{ft}{sec^2}$  میباشد واحد تعجیل از  
یک سیستم به سیستم دیگر تبدیل شده میتوانند.

مثال ۱- تعجیل یک موتور  $\frac{20 cm}{sec^2}$  است تعجیل آن را به  $\frac{m}{min^2}$  پیدا کنید؟

حل : چون  $1 cm = \frac{1}{100} m$  و  $1 sec = \frac{1}{60 min}$  است بناً

$$\begin{aligned} 20 \cdot \frac{1 cm}{(1 sec) \times (1 sec)} &= \frac{20 \cdot \frac{1}{100} m}{\frac{1}{60} \times \frac{1}{60} (min)^2} \\ &= \frac{100}{1} \left( \frac{m}{min^2} \right) \\ &= \frac{20 \times 3600 m}{100 (min)^2} = 720 \left( \frac{m}{min^2} \right) \end{aligned}$$

همان طوریکه سرعت متوسط معلومات کافی راجع به چگونگی تمام سرعت ها برای ما ارایه کرده  
نمیتوانست ، تعجیل متوسط نیز معلومات کافی راجع به تمام تغییرات در طول راه پیموده شده

ارایه کرده نمیتواند بنا بر آن باید تعجیل لحظی را در یک زمان بسیار کوچک  
در صورتیکه  $\Delta t$  خیلی کوچک یا به صفر تقرب کند پیدا کنیم (3)  $a_t = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

۴ - سرعت گریز از زمین تقریباً ( ) می باشد.

۵ - ( ) برای هر سیاره یک مقدار ثابت می باشد.

در سوالات ذیل جواب درست را انتخاب کنید.

۱ - مدار هر سیاره حول آفتاب

a - یک دایره است که آفتاب در یکی از محراق های آن قرار دارد.

b - یک بیضوی است که آفتاب در یکی از محراق های آن قرار دارد.

c - نیم دایره و یا دایره نامتکمیل است.

d - هیچ کدام

۲ - خطی که یک سیاره را به آفتاب وصل می سازد.

a - حین گردش سیاره حول آفتاب خط واصل در اوقات مساوی فواصل مساوی را جاروب میکند

b - حین گردش سیاره حول آفتاب خط واصل در اوقات مساوی فواصل مختلف را جاروب میکند

c - هر دو حالت فوق درست است.

d - هیچ کدام درست نیست.

۳ - یکی از معادلات ذیل از قانون سوم کپلر پیروی میکند.

$$C_1 = GM \quad -c$$

$$F_{cp} = \frac{m 4 \pi^2}{T^2 \cdot r} \quad -a$$

$$K = Gm \quad -d$$

$$\frac{r_1^3}{T_1^2} = \frac{r_2^3}{T_2^2} \quad -b$$

۴ - قوه بین دو کتله  $m$  و  $M$

a - مستقیماً متناسب به مربع فاصله بین شان است.

b - معکوساً متناسب به حاصل ضرب کتله های شان است.

c - مستقیماً متناسب حاصل ضرب کتدهای شان است .

d - هیچ کدام درست نیست .

سوالات محاسباتی :

۱- حرگاه جسمی از سفینه فضائی که به فاصله  $92 \times 10^5 \text{ Km}$  از مرکز زمین قرار دارد رها گردد .  
بکدام شتاب به طرف زمین خواهد آمد .

۲- برای تغییر مکان کتدهای یک گرام

a - در فاصله بی نهایت چه قدر کار لازم است .

b - حرگاه انرژی پویشیل را در بی نهایت صفر انتخاب کنیم انرژی پویشیل جسم مذکور را در سطح زمین پیدا کنید .

۳- سرعت گریز از سطح زمین  $11,2 \text{ km/Sec}$  میباشد .

a - اگر کتدهای زمین دوچند شعاع آن ثابت باقی بماند سرعت گریز آن چه قدر خواهد بود .

b - حرگاه شعاع زمین دوچند و کتدهای آن ثابت باقی بماند سرعت گریز آن چند خواهد بود .

۴- سرعت یک قمر مصنوعی را که از سطح زمین  $1000 \text{ miles}$  فاصله دارد دریافت کنید . فرض کنید که این فاصله  $\frac{1}{4}$  شعاع زمین باشد .

۵- عطارد به گرد آفتاب میچرخد اگر سرعت سیاره مذکور در نزدیکترین فاصله مدار که  $28,6 \times 10^6 \text{ mile}$

است  $35 \text{ miles/Sec}$  باشد سرعت آن را در دورترین نقطه مدار که  $43,4 \times 10^6 \text{ mile}$  است دریافت کنید .

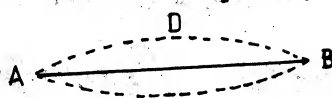
۶- اگر قمر مصنوعی روی مدار به شعاع  $119500 \text{ mile}$  با طرف زمین میچرخد هر  
بگرد زمین چه قدر خواهد بود .

# فصل ششم

## حرکت های مونیکی ساده

### 6-1 حرکت های ارتعاشی

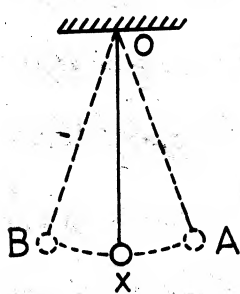
ما تا حال حرکت انتقالی و دورانی جسم را مطالعه نمودیم در اینجا نوع دیگر از حرکت را که حرکت ارتعاشی



شکل (6-1)

نامیده میشود مطالعه می نمائیم وقتی که شایک تار کش شده را مانند شکل (6-1) به یک طرف کش میکنید و به حالت

ABC میآورید و دوباره رها میکنید تار مذکور بدو طرف AB حرکت تکراری را اجرا نماید این نوع حرکت را حرکت ارتعاشی می نامند. و یادریک مثال دیگر، اگر قاصد بسط را از موقعیت اصلی خود مانند



شکل ذیل بجا نمائیم و رها کنیم این رقاصه بدو طرف موقعیت اصلی خود (حالت تعادل خود) حرکت را اجرای نماید.

حرکت رقاصه ساعت دیواری یک مثال دیگر حرکت ارتعاشی میباشد. برای معلومات بیشتر اصطلاحات ذیل مطالعه می نمائیم

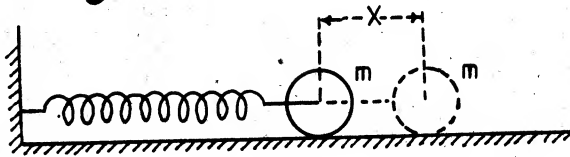
حرکت پیروی دیک: هر حرکتی که در زمان های مساوی تکرار شود حرکت پیروی دیک نامیده میشود.

۲- یک رفت و آمد یک جسم اهتزاز کننده را یک اهتزاز کامل میگویند. مثلاً در شکل بالا اهتزاز حرکت کتله m.

### 6 حرکت تحت قوه الاستیکی تجدیدی

کتله m را که در انجام یک فزودصل شده در روی یک سطح بدون اصطکاک افقی قرار دارد (۱۲۳)

مانده 3-6، در نظر میگیریم. اگر کتله مذکور به اندازه فاصله  $x$  کش شود قوه عامل  $f$  مستقیماً متناسب به فاصله  $x$  میباشد.



در تیر خصوصیت مواد فنر ارتباط دارد.

عز داریم .

شکل (6-3)

$$F \approx x$$

$$F = kx$$

$k$  ضریب الاستیکی فنر بوده به مواد و ساختمان فنر مربوط میباشد. مقابلتاً در فنر مقابل قوه کشش بنا بر بودن قوه الاستیکی، یک قوه عکس العمل تولید میگردد. بناءً این قوه که مساوی و مختلف البجهت به قوه عمل است میتوان طوری ذیل تحریر کردید.

$$F = -kx$$

اکنون با در نظر داشت قوه  $f = -kx$  که همیشه بعد از رها شدن فنر از طرف فنر برای حرکت کتله

$m$  بکار برده میشود حرکت کتله  $m$  را مطالعه

می نمائیم.

اگر کتله  $m$  به اندازه  $x_2$  کش و بعد

رها گردد  $m$  به طرف نقطه تعادل خود رفت

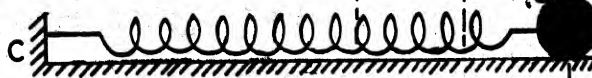
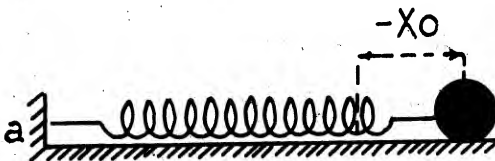
و آمدی نماید. اگر کتله  $m$  به اندازه  $x_0$

کش شده باشد و یا فشار داده شده باشد قوه

تجدیدی  $F$  (restoring force)

عبارت خواهد بود از .

$$F = -KX_0$$



شکل (6-4)

وقتی که بالای کتله  $m$  قوه  $F$  در یک فاصل  $x$  از نقطه تعادل عمل کند بالای کتله مذکور کار اجرا میگردد و کتله مذکور در خود انرژی ذخیره میکند و این انرژی ذخیره شده انرژی پوتنشیل فرخواهد بود. زمانی که جسم از نقطه تعادل بیجا شود و بعداً رها گردد تا رسیدن به نقطه تعادل تمام انرژی پوتنشیل آن به انرژی حرکی تبدیل میگردد. قرار قانون عطالت چون جسم سرعت دارد بناءً به طرف دیگر نقطه تعادل به حرکت خود ادامه میدهد و فنر دوباره انقباض میگذاارد تا اینکه جسم متوقف گردد. که به اینجا تمام انرژی حرکی آن به انرژی پوتنشیل تبدیل میشود. که این انرژی پوتنشیل به جسم توان کار میدهد و آنرا به حرکتی آورد. در نقطه تعادل تمام انرژی پوتنشیل به جسم کی تبدیل شده و قرار قانون عطالت جسم باز هم به فاصل  $x_0$  از محل تعادل دور میگردد و فنر باز میگردد که در این صورت باز هم انرژی حرکی به انرژی پوتنشیل تبدیل می گردد. و این تکرار دور ادامه پیدا میکند از آنجا که حرکت جسم یک حرکت تعجبیلی است در هر نقطه کیفی  $x$  قوه وارده بالای کتله  $m$  عبارت خواهد بود از :

$$F = -kx = ma$$

$$a = -\frac{k}{m}x \dots \dots \dots (1)$$

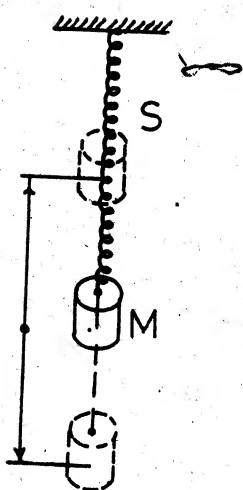
چون مقادیر  $k$  ،  $m$  ثابت اند بنا بر آن داریم :

$$a = \text{Constant} \cdot x$$

در نتیجه میتوان گفت که کتله  $m$  اگر به فاصل  $x$  از نقطه تعادل قرار داشته باشد دارای تعجیل خطی است که مقدار آن متناسب به فاصل  $x$  از موقعیت تعادل بوده و همیشه به طرف نقطه تعادل جهته دارد. حرکت که دارای چنین خاصیت باشد بنام حرکت هارمونیک ساده یاد میشود.

### 3-6 حرکت نوسانی ساده :

حرکت نوسانی ساده به حرکت گفته میشود که روی یک خط مستقیم در دو طرف یک نقطه با تعجیل متناسب به فاصل متحرک از این نقطه صورت گیرد و جهت تعجیل همیشه متوجه نقطه تعادل میباشد حرکت

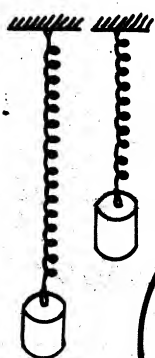


نوسانی ساده یکی از نمونه های مهم حرکت تناوبی میباشد که بالای یک خط مستقیم انجام می گیرد. مانند حرکت نوسانی یک وزنه ای که به انتهای فنر سبک آویخته شده و در ارتفاعات قائم بادامنه کم نوسان میکند و یا حرکت پندولیم که به زاویه کوچک نوسان میکند.

برای بررسی این حرکت در نظر میگیریم که یک ذره P بر روی دایره ای که شعاع آن برابر دامنه حرکت نوسانی است. با سرعت ثابت  $v$  حرکت کند طوریکه مدت یک دور حرکت آن در

شکل (5-6)

این دایره برابر زمان تناوب (زمان یک نوسان کامل) حرکت نوسانی باشد. حرکت تصویر نقطه



m بر روی یک خط مستقیم واقع در صفحه این دایره (مثلاً قطر AB) نشان دهنده حرکت ذره نوسانی

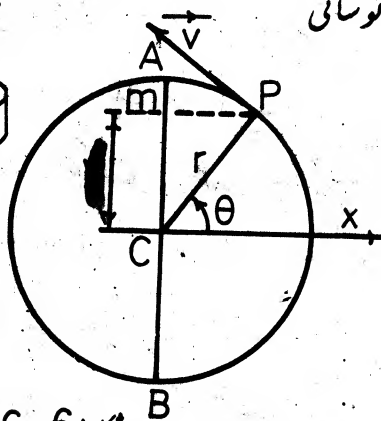
ساده است: شکل (6-6)

سرعت لحظی حرکت تصویر نقطه m

روی قطر AB از A تا B و یا برعکس

از B به A ثابت نیست و درین سرعت

در نقطه C اعظمی میباشد و در نقاط



شکل (6-6) صفر میباشد زیرا در این نقاط تصویر m برای یک لحظه توقف نموده و جهت حرکت آن تغییر میخورد.

فاصله تصویر نقطه m در هر لحظه از مرکز C یعنی  $Cm = y$  را «بجود حرکت» گویند اندازه

y بین صفر (مرکز C) و  $r$  (در نقاط A و B) تغییر میخورد. بیشترین مقدار y یعنی r

را «دامنه حرکت» می نامند. بجود متحرک m در حرکت نوسانی بر روی خط مستقیم AB

مربوط به موقعیت نقطه  $P$  روی دایره می باشد و توسط زاویه  $\theta$  مشخص می گردد. یعنی زاویه  $\theta$  مشخص کننده نقطه  $P$  بالای دایره و  $m$  روی قطر  $AB$  بوده و فاز حرکت نامیده می شود. زمان یک نوسان کامل از زمان تناوب می نامند و به  $T$  نشان می دهند. اگر جسمی از نقطه  $A$  شروع به حرکت نماید و در نقطه  $B$  برود و دوباره به نقطه  $A$  برگردد. یک نوسان کامل صورت گرفته و اگر حرکت از  $C$  شروع و به  $B$  برود و پس به نقطه  $C$  برگردد نیم نوسان انجام یافته. تعداد نوسان های کامل با تعداد ارتعاشها در واحد زمان را تواتر یا فریکوئسی حرکت می نامند و به  $f$  نشان می دهند. رابطه بین فریکوئسی  $f$  و زمان یک دور یا یک تواتر کامل را طوری ذیل برقرار می نمائیم.

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{و} \quad f = \frac{1}{T} \quad \dots \dots (1)$$

واحد فریکوئسی مرتز که به  $(\text{HZ})$  ارایه می گردد می باشد یک مرتز معادل به یک نوسان کامل یا یک ارتعاش کامل در یک ثانیه می باشد.

#### 4-6 معادلات حرکت، سرعت و تعجیل در حرکت نوسانی:

##### الف معادله حرکت:

متحرک  $m$  در زمان  $t = 0$  که در نقطه  $C$  است شروع به حرکت نوسانی می نماید. فاصله  $y = \overline{cm}$  بعد از زمان  $t$  نظریه شکل (7-6)، از رابطه ذیل تعیین می گردد.

$$y = r \sin \theta$$

چون نقطه  $P$  روی مسیر دایره با سرعت ثابت حرکت می نماید بنابراین شعاع  $OP$  با سرعت

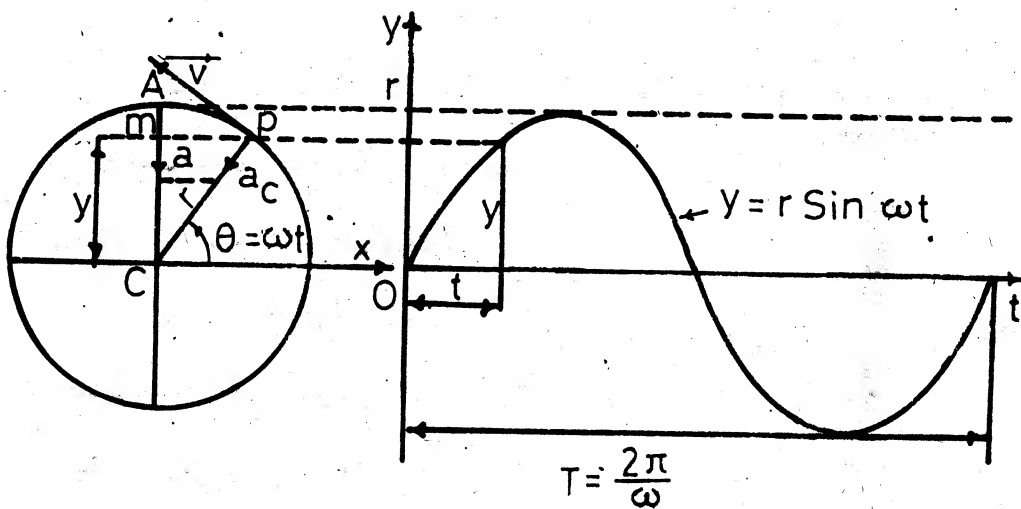
زاویوی ثابت ،  $\omega$  می چرخد چون  $\theta = \omega t$  است پس داریم :

$$y = r \sin \omega t \quad \dots \dots \dots (2)$$

چون  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$  است پس

$$y = r \sin \frac{2\pi}{T} \cdot t$$

$$y = r \sin 2\pi f t \quad \dots \dots \dots (3)$$

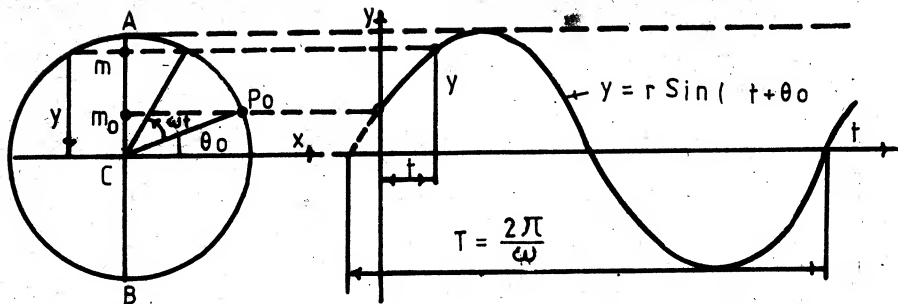


شکل (6-7)

اگر متحرک در مبدأ زمان از نقطه  $m_0$  مانند شکل (6-8) شروع به حرکت نماید معادله حرکت نوسانی آن بطور ذیل دریافت میگردد .

$$y = r \sin (\omega t + \theta_0) \quad \dots \dots \dots (4)$$

در این صورت فاز حرکت  $(\omega t + \theta_0)$  میباشد و  $\theta_0$  فاز اولیه نامیده میشود . وقتی که نقطه P روی محیط دایره حرکت میکند زاویه  $\omega t$  بصورت یکنواخت افزایش می یابد و مبدأ آن  $\theta_0$  میباشد . ولی مبدأ بخش ، فاز  $(\omega t + \theta_0)$



شکل (8-6)

به طرف راست اشکال 7 و 8 مخفی ساینی دیده میشود که تغییرات فاصله  $y$  را نظریه زمان  $t$  در یک پیرودن نشان میدهد. در هر دو شکل زمان  $t$  روی

محور افقی و فاصله  $y$  روی محور عمودی

نشان داده شده نمونه این مخفی را میتوان

علاقم کرد. مانند شکل (9-6)، یک وزنه

را در یک انجام فتر محکم نموده و یک پندل را

نیز در اینجا نصب کنید که نوک پندل بالای

تریشه کاغذ وصل باشد اگر وزنه

نوسان کند پندل روی کاغذ خط میکشد و مخفی ساینی را رسم میکند. این مخفی نمایش تغییرات بعد  $y$  نظریه زمان میباشد.

ب: معادله سرعت

میدانیم که سرعت لحظوی مشتق معادله حرکت است. بنابراین برای دریافت سرعت کافی است

که از معادله حرکت نوسانی مشتق بگیریم.

$$v = \frac{dy}{dt} = r\omega \cos \omega t \dots (5)$$

اگر  $\cos \omega t = 1$  باشد  $v$  اعظمی است .

$$v = R\omega \dots \dots \dots (6)$$

$v = r\omega$  زمانی صدق میکند که  $t = 0$  باشد و یا  $t = KT$  است .  
 $K$  عبارت از یک عدد تمام می باشد .

### ج - معادله شتاب :

چون شتاب لحظه ای مشتق سرعت نظریه زمان است بنا بر آن

$$a = \frac{dv}{dt} = -r\omega^2 \sin \omega t \dots \dots \dots (7)$$

$$a = -\omega^2 x \dots \dots \dots (8)$$

علامه منفی نشان میدهد که جهت شتاب  $a$  همیشه به طرف  $(c)$  متوجه میباشد .  
 به عبارت دیگر جهت  $y$  و  $a$  مخالف یکدیگر اند بیشترین مقدار تعجیل در حالت  $y = r$  میباشد .

$$(\omega t = \frac{\pi}{2})$$

یعنی

$$a_{\max} = \omega^2 x \dots \dots \dots (9)$$

در این حالت متحرک در یکی از دو انتهای مسیر خود یعنی در نقطه  $A$  و یا  $B$  است در همان نقاط سرعت متحرک صفر میشود و جهت حرکت تغییر میکند .  
 5-6- مشوضات کتله  $m$  که در انجام یک فنربسته شده ؛  
 وقتی که یک کتله به انجام یک فنربسته شده و از حالت تعادل کشیده شود و بعداً رها گردد .

اگر  $\Delta t$  خیلی کوچک یا به صفر تقرب کند از رابط اخیر لمیت میگیریم .

$$a_t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

## 7-1 | تعجیل منفی :

وقتی که بیک موتور گرفته میشود سرعت آن لحظه به لحظه کم شده میرود در این صورت مانند

شکل اگر  $v_1$  سرعت موتور در زمان  $t_1$

و  $v_2$  سرعت موتور در زمان  $t_2$  باشد

تعجیل متوسط قرار درس های گذشته

$$a_{av} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

چون  $v_1 > v_2$  است بناءً

حاصل تفریق  $(v_2 - v_1)$  منفی میباشد تعجیل منفی را تاخیر نیز می نامند بنابراین حرکت با تعجیل منفی را حرکت تاخیری می گویند .

## 8-1 | معادلات حرکت تعجیلی یکنواخت :

فرض میکنیم یک جسم روی جاده مستقیم با تعجیل ثابت در حرکت است حرکت آن را در زمان

$(t)$  بررسی و روابط بین سرعت  $v_0$  ،  $v_t$  ،  $a$  و  $d$  را مطالعه میکنیم .

نخست رابط بین سرعت اولی  $v_0$  ، سرعت نهائی  $v_t$  ، زمان  $t$  و تعجیل یکنواخت

$a$  را پیدا میکنیم . چون تعجیل یکنواخت است پس تعجیل لحظی در طول زمان  $t$  عبارت

از  $a$  میباشد . همچنان سرعت متحرک در زمان  $t$  از  $v_0$  به  $v_t$  میرسد بنابراین

تعجیل متوسط

$$a_{av} = \frac{v_t - v_0}{t}$$

گفته می‌توانیم که این کتده حرکت اهترازی اجرایی نماید. از پیشتر میدانیم که:

$$a = -\omega^2 \cdot x$$

$$a = -\frac{k}{m} x$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \dots \dots \dots (1) \text{ با استفاده از روابط فوق}$$

همچنان زمان يك دور مکمل این کتده عبارت است از:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \dots \dots \dots (2)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \dots \dots \dots (3)$$

با عوض نمودن  $X_0$  به  $r$  در معادله تغییر مکان کتده  $m$  مساوی است به

$$X = X_0 \cos \omega t \Rightarrow \cos \omega t = \frac{x}{X_0}$$

$$X = X_0 \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t \dots \dots \dots (4)$$

و سرعت اولیه آن:

$$V = \frac{dx}{dt} = -X_0 \omega \sin \omega t$$

از مثلثات میدانیم که  $\sin \omega t = \sqrt{1 - \cos^2 \omega t}$  است بنابراین داریم:

$$V = X_0 \omega \sqrt{1 - \frac{x^2}{X_0^2}}$$

$$V = X_0 \omega \sqrt{\frac{X_0^2 - x^2}{X_0^2}}$$

$$V = X_0 \omega \sqrt{1 - \frac{x^2}{X_0^2}} \dots \dots \dots (5)$$

یا

$$V = \sqrt{\frac{k}{m}} \sqrt{X_0^2 - x^2}$$

با در نظر داشت سرعت لحظی انرژی حرکتی  $m$  را پیدا کرده می‌توانیم .

$$K_E = \frac{1}{2} m v^2 .$$

$$K_E = \frac{1}{2} m \left( x_0 \sqrt{\frac{k}{m}} \sqrt{1 - \frac{x^2}{x_0^2}} \right)^2$$

$$K_E = \frac{1}{2} m x_0^2 \cdot \frac{k}{m} \left( 1 - \frac{x^2}{x_0^2} \right)$$

$$K_E = \frac{1}{2} K x_0^2 \left( 1 - \frac{x^2}{x_0^2} \right)$$

$$K_E = \frac{1}{2} K (x_0^2 - x^2) \dots \dots \dots (6)$$

معادله (5) نشان می‌دهد که انرژی حرکتی وقتی عظمی است که  $x = 0$  باشد پس درین حالت

$$K_E = \frac{1}{2} K x_0^2 \dots \dots \dots (7)$$

انرژی حرکتی اصغری خواهد بود زمانی که  $x = x_0$  باشد .

هم چنان با در نظر داشت رابطه  $F = KX$  اگر  $x = 0$  باشد قوه عامل برکنده  $m$  صفر می‌باشد . اگر تغییر مکان کنده  $m$  تحت قوه  $f$  به اندازه  $x$  باشد در آن صورت قوه عامل برکنده مذکور  $F = KX$  بوده بنا بر آن قوه متوسط برای کنده  $m$  به فاصله  $x$  مساوی  $\frac{0 + KX}{2}$  یا مساوی  $\frac{1}{2} KX$  می‌باشد .

بنا بر آن کار اجرا شده تحت قوه متوسط فوق  $\frac{1}{2} KX \cdot x$  می‌باشد . این مقدار کار مساوی انرژی پوتنشیال کنده  $m$  می‌باشد .

$$P_E = \frac{1}{2} K x^2 \dots \dots \dots (8)$$

در هر موقعیت کنده  $m$  انرژی مجموعی آن مساوی است به مجموع انرژی حرکتی

وانرژی پوتنشیل .

$$m \text{ انرژی مجموعی کتده } = P_E + K_E$$

$$// \quad // = \frac{1}{2} K X^2 + \frac{1}{2} K X_0^2 \left( 1 - \frac{X^2}{X_0^2} \right)$$

$$// \quad // = \frac{1}{2} K X^2 + \frac{1}{2} K X_0^2 - \frac{1}{2} K X^2$$

$$// \quad // = \frac{1}{2} K X_0^2$$

مثال : یک قوه  $0,02 \text{ nt}$  بالای جسمی که در انجام یک فنر به طول  $0,1 \text{ m}$  بسته شده عمل میکند و آن را از نقطه تعادل می کشد مطلوب است مقدار ثابت فنر ؟  
میدانیم که رابطه بین قوه ثابت فنر ، و تغییر مکان  $x$  چنین است .

$$F = K x$$

$$K = \frac{F}{x}$$

$$K = \frac{0,02}{0,1}$$

$$K = 0,2 \text{ nt/m}$$

مثال دوم : یک جسم با کتده  $0,025$  کیلوگرام که به انجام یک فنر بسته شده به فاصله  $10 \text{ cm}$  طرف راست از حالت تعادلش بیجا میگردد اگر ثابت فنر  $0,2 \text{ nt/m}$  باشد و سرعت آن در انجام این فاصله  $0,2 \text{ m/Sec}$  باشد در آن صورت

a - زمان یک پرورد را حساب کنید .

b - فریکونسی را حساب کنید .

c - سرعت زاویوی را حساب کنید .

- d - انرژی مجموعی آن را حساب کنید .  
 e - امپلیتود یا دامنه اهتزاز حرکت را پیدا کنید .  
 f - سرعت اعظمی را حساب کنید .  
 g - تعجیل اعظمی را پیدا کنید .  
 جواب a :-

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{0,025}{0,2}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{8}}$$

$$T = \frac{2\pi}{2\sqrt{2}}$$

$$T = \frac{2 \times 3,14}{2 \times \sqrt{2}}$$

$$T = 2,22 \text{ Sec}$$

جواب b :- فرکانسی f :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,22} = 0,45 \text{ Vib/Sec}$$

جزء c :

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

سرعت زاویوی  $\omega$  :

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times \frac{1}{2,22} \text{ (Radians/Sec)}$$

$$\omega = 2,828 \text{ Rad/Sec}$$

جز d :-

انرژی پوتنسیل + انرژی حرکتی = انرژی مجموعی

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} KX^2 + \frac{1}{2} mv^2 \\ &= \frac{1}{2} 0,2 \times (0,1)^2 + \frac{1}{2} (0,025)(0,2)^2 \\ &= 0,001 + 0,0005 \\ &= 0,0015 \text{ Jouls} \\ &= 0,15 \times 10^{-2} \text{ Jouls} \end{aligned}$$

جز e : اسپد یا بزرگترین تغییر مکان  $X_0$  :

چون انرژی مجموعی مساوی به انرژی اعظمی پوتنسیل است بنابراین داریم :

$$\text{انرژی مجموعی} = \frac{1}{2} KX_0^2$$

$$2 \times (\text{انرژی مجموعی}) = KX_0^2$$

$$2(0,0015) = 0,2 X_0^2$$

$$X_0^2 = \frac{2(0,0015)}{0,2}$$

$$X_0 = 0,122 \text{ m}$$

جز f : سرعت اعظمی  $V_0$

$$V = V_0 \sqrt{1 - \frac{X^2}{X_0^2}}$$

$$V_0 = \frac{V}{\sqrt{1 - \frac{X^2}{X_0^2}}}$$

چون  $V = 0,2 \text{ m/Sec}$  و  $X_0 = 0,122 \text{ m}$  است بنابراین داریم

$$V_0 = \frac{0,2}{\sqrt{1 - \frac{(0,01)}{(0,122)^2}}}$$

$$V_0 = 0,349 \text{ m/Sec}$$

جز  $g$  بتجیل اعظمی

$$f = ma = -KX$$

$$a_{\max} = -\frac{k}{m} x$$

$$a_{\max} = -\frac{0,2}{0,025} \times (0,1)$$

$$a_{\max} = -0,8 \text{ m/Sec}^2$$

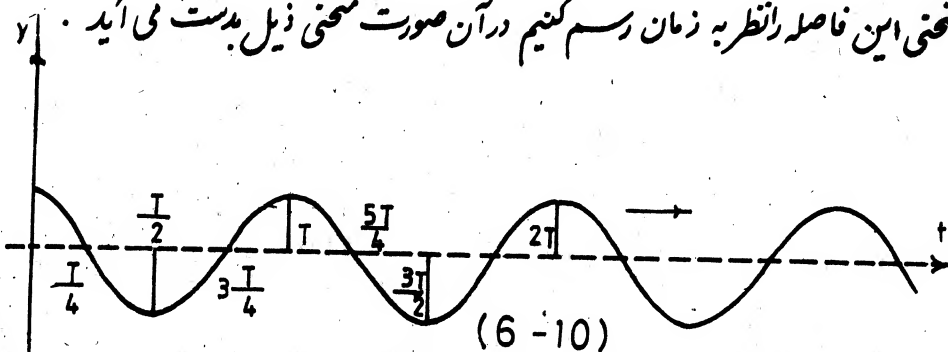
شکل موجی حرکت هارمونیک ساده (SHM) :

قبلاً ما حفظ نمودیم که تغییر مکان یک جسم موقع حرکت هارمونیک ساده قرار ذیل است .

$$X = r \omega \sin \omega t$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

اگر ما منحنی این فاصله را نظریه زمان رسم کنیم در آن صورت منحنی ذیل بدست می آید .



این منحنی که فاصله را به تابع زمان ارایه میدارد به شکل حرکت موجی حرکت هارمونیک ساده تعریف

گرفته است .

## 6-6 رقا صه بسط و دریافت زمان تناوب :

رقا صه بسط عبارت از يك جسم سنگين نقطوی است كه به انجام يك ميله ويا يك تار اهتر از كند ولی در غل رقا صه از يك گلوله به كتله  $m$  كه از يك تار به وزن ناچيز اویزان شده است عبارت میباشد اگر دامنه نوسان گلوله کمتر از  $6^\circ$  درجه باشد گویند پنذولیم روی يك خط مستقیم حرکت تکراری را اجرا میکند . ما در اینجا يك رقا صه بسط را كه از يك تار به طول  $L$  اویزان شده است در نظر میگیریم .

اگر رقا صه به اندازه زاویه  $\theta$  از حالت تعادلش میجاشود وزن گلوله را میتوانیم به دو مركبه تجزیه كنیم . یکی در امتداد تار مخالف قوه كشش تار  $F_1 = mg \cos \theta$  كه در حرکت پنذولیم رول ندارد و دیگری مركبه  $F_2 = mg \sin \theta$  كه با تار زاویه  $90^\circ$  را می سازد و گلوله را به سوی تعادلش به حرکت مجبوری سازد و آن را تعجیل میدهد .

اگر زاویه  $\theta$  بسیار كوچك باشد  $\sin \theta = \theta = \tan \theta$  میگردد . چون جهت حرکت و جهت تعجیل از نقطه تعادل مخالف جهت اند بنابراین تعجیل منفی میباشد . پس نظر به قانون دوم نیوتن داریم :

$$F = +ma = -mg \sin \theta$$

$$a = -g \sin \theta$$

$$\text{و هم } \sin \theta = \frac{x}{L} \text{ است بنابراین داریم } a = -g \frac{x}{L}$$

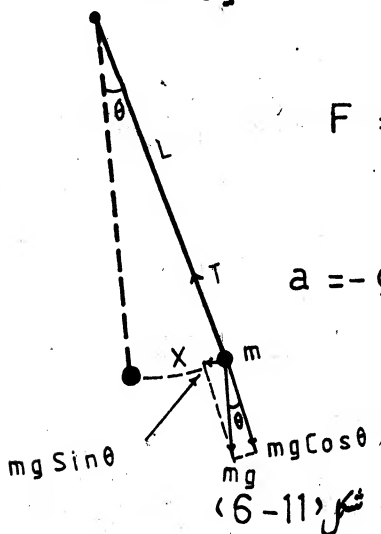
$$\text{از طرف دیگر میدانیم } a = -\omega^2 x$$

$$-\omega^2 x = -g \frac{x}{L}$$

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = \frac{g}{L}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

(۱۳۶)



رابطه اخیر زمان تناوب را برای یک رقاصه بسیط ارایه میکند که برای دامنه کمتر از  $6^\circ$  در نوسان میکند.

## 6-7 ریز و نانس

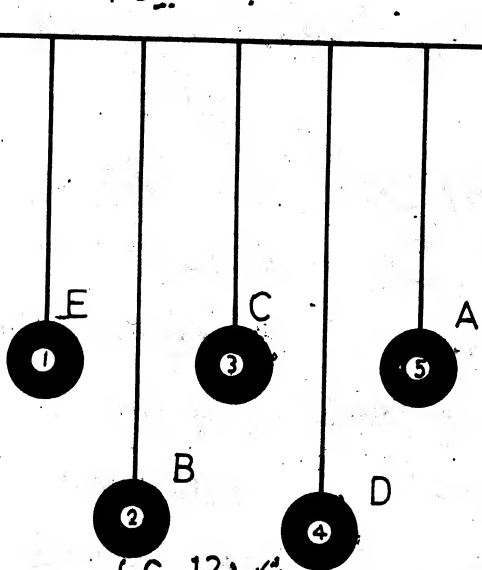
وقتی که یک رقاصه بسیط از موقعیت اصلی آن بجا می‌گردد این رقاصه با پیروی حقیقی  $T$  اهتزاز می‌نماید و دارای فریکوئنسی  $F = \frac{1}{T}$  می‌باشد.

هر وقتی که این پندولیم از محل تعادلش بجا شود همیشه به عین فریکوئنسی اهتزاز میکند.

بنابر آن این فریکوئنسی  $F$  فریکوئنسی طبیعی پندولیم و زمان پیروی  $T$  پیروی طبیعی پندولیم می‌باشد.

و زمان پیروی که مربوط به طول رقاصه می‌باشد یعنی این چنین رقاصه‌ای بسیط با طول‌های مختلف دارای پیروی مختلف طبیعی می‌باشد. ولی پندولیم‌های با طول‌های مساوی دارای پیروی‌های مساوی طبیعی می‌باشد.

حال فرض میکنیم یک تعداد از پندولیم‌ها مانند شکل (6-12)، از یک میله اویزان شده‌اند رقاصه‌های  $C$  و  $E$  با طول‌های مساوی بوده بناءً دارای پیروی طبیعی  $T_1$  مساوی می‌باشند مشابه آن رقاصه‌های  $B$  و  $D$  دارای طول‌های مساوی بوده بناءً دارای پیروی طبیعی مساوی  $T_2$  می‌باشد.



شکل (6-12)

پندولیم  $A$  که بزرگترین کتله را داشته و تار آن تغییر پذیر است. اگر طول آن را تغییر داده و مساوی به طول  $C$  و  $E$  گردد و پندولیم  $A$  به اهتزاز

آورده شود. پس داریم  $\omega$  و  $E$  که عین طول را دارند نیز به اهتزاز خواهد آمد.  
عمل ریزدانس برای دریافت پیرود یا فریکوئسی طبیعی جسم به تنز استعمال میگردد.

## تمرینات

سوالات تشریحی :

۱- اصطلاحات ذیل را تعریف نمایید.

a - ارتعاش

b - فریکوئسی

c - دامنه اهتزاز

d - فاز

۲- حرکت نوسانی ساده را تعریف کنید.

۳- فریکوئسی اهتزاز چیست تعریف نمایید.

۴- معادله تعجیل در حرکت نوسانی را به اثبات رسانید که  $a = -\omega^2 x$  است.

۵- ریزدانس کدام حادثه فزیک را تشریح میکند تعریف کنید.

سوالات تکمیلی :

۱- هر حرکت که در زمان  $\omega$  مساوی تکرار شود بنام ( ) نامیده می شود.

۲- اگر از یک فنر که  $m$  اویزان گردد و کش شود قوه عامل ( ) مستقیماً

متناسب به ( ) میباشد یعنی ( )

۳- زمانی که یک جسم از نقطه تعادل بیجا شود و بعداً برگردد الی رسیدن به نقطه تعادل تمام انرژی ( ) به انرژی ( ) تبدیل میگردد.

۴- رابطه بین فریکوئسی و زمان تناوب ( ) میباشد.

## سوالات انتخابی :

۱- اگر  $F$  قوه عامل بالای یک فنر و  $x$  طول کش فنر باشد در آن صورت رابطه بین  $F$  و  $x$  قرار قانون هوک چنین می باشد .

$$F = KX^2 \quad -c \quad F = mx \quad -a$$

$$F = -KX^2 \quad -d \quad F = \pm KX \quad -b$$

۲- معادله حرکت در حرکت های اهتزازی عبارت است از

$$y = r \sin \omega t \cdot \cos \omega t - c \quad y = r \cos \omega t \quad -a$$

$$y = r \sin^2 \omega t \quad -d \quad y = r \sin \omega t \quad -b$$

۳- رابطه بین کمته  $m$  که به انجام یک فنر اویزان شده و زمان تناوب طوری ذیل می باشد .

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad -c \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{k}{m}} \quad -a$$

$$T = 2\pi r \frac{m}{k} \quad -d \quad T = 2\pi \sqrt{km} \quad -b$$

۴- در یک رقاصه بسیط رابطه بین طول رقاصه و فاصله بی جا شده  $(x)$  ، تعجیل جاذبه زمین و تعجیل نوسانی رقاصه طوری ذیل می باشد .

$$a = g \cdot x \cdot L \quad -c \quad a = g \cdot \frac{L}{x} \quad -a$$

$$a = -\frac{x \cdot L}{g} \quad -d \quad a = g \cdot \frac{x}{L} \quad -b$$

## سوالات محاسباتی :

۱- در مکانی که شتاب جاذبه زمین  $g = 9,815 \text{ m/sec}^2$  است زمان نوسان رقاصه

یک ساعت  $1,255 \text{ Sec}$  است اگر این ساعت به جای دیگری برده شود

که تعجیل جاذبه زمین در آنجا  $g = 9,795 \text{ m/sec}^2$  باشد و طول آن رقاصه

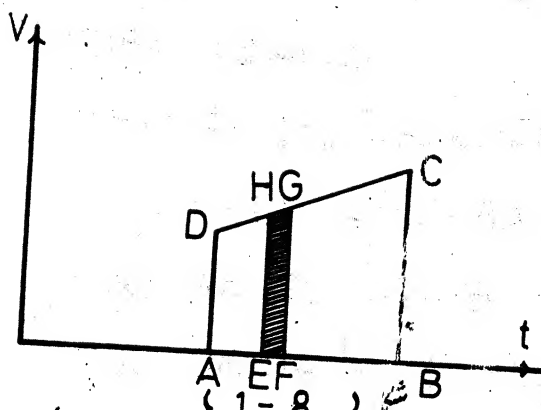
چون در حرکت های با تعجیل یکنواخت مقدار تعجیل متوسط و تعجیل لحظی با هم مساوی است  
بنابراین

$$a = \frac{v_t - v_0}{t}$$

$$v_t = v_0 + at \dots \dots \dots 4$$

معادله دیگری که فاصله را به ارتباط  
سرعت، تعجیل و زمان  $t$  میدهد قرار  
ذیل دریافت می‌داریم.

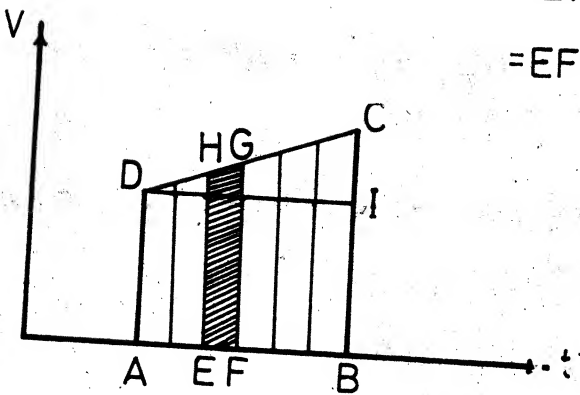
در حالت حرکت متساویه التّعجیل گراف  
سرعت  $v$  نظر به زمان  $t$  یک خط  
مستقیم است. یک زمان بسیار



کوچک  $\Delta t$  را که به EF ارایه شده است در نظر می‌گیریم. سرعت بین زمان  $t$  اولی و نهایی این  
انتروال فرعی EF توسط خط های EH و FG نشان داده شده اگر زمان  $\Delta t$   
خیلی کوچک باشد در آن صورت EH و FG با هم مساوی می‌باشند. پس:  
زمان  $\times$  سرعت = فاصله طی شده توسط متحرک در زمان  $\Delta t$

$$= EH \times EF$$

$$= EF \cdot GH \cdot \text{مساحت}$$



شکل (1-9)

چون فاصله طی شده توسط  
متحرک در زمان  $\Delta t$  در گراف توسط  
مساحت EFGH ارایه گردید  
حال تمام زمان  $t$  را که در گراف  
به AB نشان داده شده است

ثابت بماند زمان نوسان رقا صه ساعت دار دهان مکان محاسبه نماید هم چنان در مدت 24 ساعت تغییر را که ساعت در وقت نشان میدهد چند دقیقه خواهد بود.

جواب ( 1,2 563 Sec ) و ( 1 دقیقه و 29,5 Sec )

۲- یک گلوله از یک سیم فولادی باریک اویزان شده و یک رقا صه را تشکیل داده است . اگر این رقا صه در  $20^{\circ}\text{C}$  یک نوسان کامل خود را در  $2\text{ s}$  تکمیل نماید در جرات  $40^{\circ}\text{C}$  چه تغییری در زمان نوسان آن حاصل خواهد شد در صورتیکه ضریب انبساط این سیم  $10^{-6} (\text{C}^{\circ})^{-1}$  باشد ؟

جواب (  $2,2 \times 10^{-5} \text{ Sec}$  زمان نوسان افزایش می نماید )

۳- دو رقا صه بسط A و B با دامنه های کوچک به اهتزاز آورده میشود بعد از زمان 5 دقیقه و 24 ثانیه رقا صه B یک اهتزاز کامل از رقا صه A پیش میگیرد اگر زمان یک اهتزاز کامل رقا صه A  $2 \text{ Sec}$  باشد نسبت طول های رقا صه های A و B را پیدا کنید

( جواب 1,01 )

۴- یک سرتار را عموداً به امتداد آن به فریکوئسی  $5 \text{ Hz}$  به حرکت میآوریم اگر سرعت انتشار موج حاصل از این تار  $20 \text{ m/Sec}$  باشد . طول موج آن چقدر خواهد بود .

جواب (  $\lambda = 4 \text{ m}$  )

۵- قوه  $0,5 \text{ nt}$  بالای یک جسمی که در انجام فنر بطول  $0,2 \text{ m}$  بسته شده عمل میکند و آن را از حالت تعادل میکشد ثابت فنر را حساب کنید .

۶- یک جسم با کتده 0,035Kg به انجام يك فنر نسبتہ شده به فاصلہ 8cm به يك طرف از حالت تعادل آن کشيده می شود. اگر ثابت فنر  $0,3 \frac{nt}{m}$  باشد و سرعت آن در انجام اين فاصلہ 0,3 m/Sec باشد در آن صورت .

a - زمان پيريود را حساب كنيد .

b - فریکوئنسی را حساب كنيد

c - سرعت زاويوی را حساب كنيد .

d - انرژی مجموعی را حساب كنيد .

e - سرعت اعظمی را حساب كنيد .

f - تعجيل اعظمی را حساب كنيد .

# فصل، مضمون

## امواج

### ۱- 7 چگونه ایجاد و انتشار حرکت موجی ؟

حرکت اهتزازی هر جسم را میتوان منبع تولید امواج دانست. برای اینکه یک جسم بتواند مرتعش گردد و منبع تولید موج شود باید دارای دو خاصیت ذیل باشد.

۱- هنگامیکه جسم مرتعش از تعادل خود بیجا میشود قوه موجود باشد تا آن را پس به حالت تعادل آن بیاورد.

۲- قابلیت تبدیل انرژی حرکتی به پوتنشیل و پوتنشیل به حرکتی را داشته باشد. فنر، سیم مرتعش، پنجه صوتی نمونه های بسیار خوب تولید موج میخانیکی میباشد.

فرضاً یک سه تناب یا فنر را به کدام جای بسته و انجام دیگر آن را گرفته ایم. اگر دست خود را به سرعت به طرف بالا ببریم و بجای قبلی اش برگردانیم این حرکت دست در طناب یا فنر خلال تولید میکند که پلزن نامیده میشود مانند شکل (۱- 7)، و این خلال در طول فنر یا طناب انتشار می نماید.

این خلال در هر نقطه از طناب که میرسد آن نقطه به طرف بالا حرکت می نماید و بعد از عبور

ا خلال دوباره به جای خود بر میگردد

در اینجا یاد آوری شویم که خلال بعد از رسیدن به مانع بر میگردد و جهت آن معکوس میشود. اگر

به عوض یک تکان چندین تکان به وسیله یک حرکت

نوسانی در انجام طناب عمود بر طناب با پیرایه  $T$

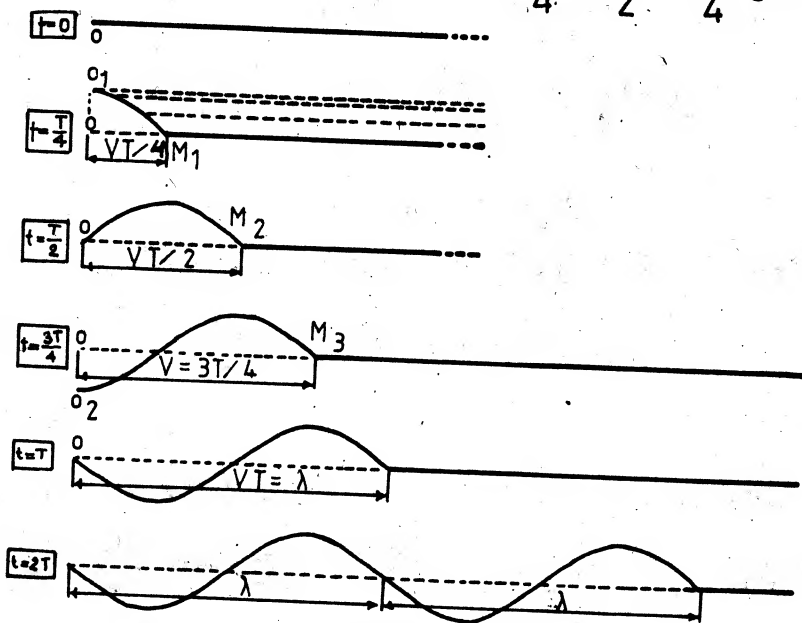
داده شود به جای یک خلال امواج ساده سانی

که شکل آن شبه منحنی Sin است تولید و در طول

طناب منتشر میگردد. شکل (7-2) انتشار این امواج

شکل (1-7)

دارد که نقطه های  $\frac{T}{4}$ ،  $\frac{T}{2}$ ،  $\frac{3T}{4}$  و  $T$  به ترتیب نشان میدهند.



شکل (2-7)

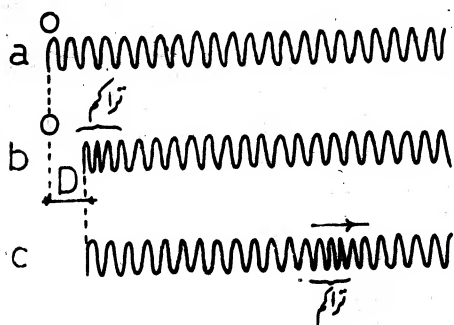
## 2-7 امواج عرضی :

1- امواج عرضی : به امواج گفته می شود که جهت انتشار آنها در یک محیط برامنداد  
اهتزاز ذرات آن محیط عمود باشد. امواجی که در طول طناب مثال فوق منتشر می شوند از نوع  
امواج عرضی میباشند. زیرا امتداد اهتزاز هر نقطه از طناب بر جهت انتشار موج عمود میباشد

امواجیکه بصورت برجستگی و فرورفتگی های دایروی شکل بر سطح آب منتشر می شوند از نوع موج عرضی میباشند.

## ۲- موج های طولی :

امواج طولی امواجی استند که جهت انتشار آن منطبق جهت اهتزاز آن باشد مثلاً اگر چند حلقه یک انجام یک فنر نرم را به هم نزدیک سازیم و بعداً رها کنیم . این حلقه ها دوباره از هم جدا می گردند و



میشوند ولی حلقه های مجاور خود را به هم نزدیک می سازد . این تراکم و نسیب مستقیماً در طول فنر منتشر میشود تا به انتهای فنر برسد. شکل (3-7) هرگاه یک پیچ صوتی در هوا به اهتزاز آورده شود شاره های آن مایکول های هوای محب و رفرود

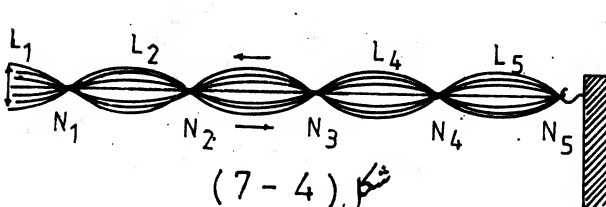
شکل (3-7)

را به اهتزاز می آورد . این اهتزاز های هوا مایکول به مایکول به شکل یک رشته تراکم و نسیب ط متوالی به شکل امواج طولی و به نام موج های صوتی در تمام جهات در هوا انتشار می یابد .

## 3-7 موجهای ساکن :

این موج ها را بخاطر امواج ساکن میگویند که برخلاف موجهای که مطالعه نمودیم در محیط منتشر نمیشود . تقریباً تمام صوت های حاصل از آلات موسیقی در نتیجه تشکیل امواج ساکن بوجود می آیند . موجهای ساکن را میتوان در تمام اجسام از جامد ، مایع و گاز به وجود آورد و برای تولید آنها کافی است دو موج هم فرکانسی را در خلاف جهت های یکدیگر در محیط مورد نظر انتشار داد .

در شکل (4-7) چگونگی تشکیل موج های ساکن به وسیله امواج عرضی در یک طناب نشان داده شده است یک سر طناب به پایه بسته شده است و سر دیگر آن با حرکت نوسانی ساده به اهتزاز در می آید . موجهای حاصل از این ارتعاشات در طول طناب منتشر میشوند و پس از رسیدن به انتهای



طناب در برخورد به مانع بر میگردد و با  
امواجیکه به طرف مانع پیش میروند بر  
خوردی نمایند. اگر فرکانسی منبع ارتعاش

شکل (4-7)

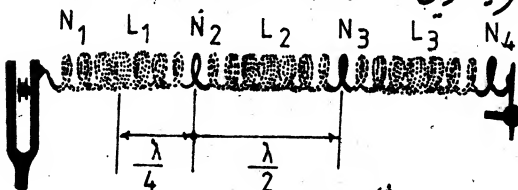
با طول طناب و کشش آن درست و مناسب انتخاب شود در طول طناب مطابق شکل امواج استاده به  
وجود می آید یعنی در بعضی از نقاط مانند  $L_1$  و  $L_2$  ... طولی طناب به شدت مرتعش می شود.  
این نقاط که بزرگترین دامنه حرکت را دارند بطن نامیده می شوند. نقاط دیگر مانند  $N_1$ ،  $N_2$  و ...  
که در فواصل بین بطن ها قرار دارند بی حرکت می مانند این نقاط گره نامیده میشوند.

### 4-7 سرعت انتشار موج در یک محیط متجانس؛

محیط متجانس (ایزوتروپ) همان محیط است که شرایط فیزیکی در تمام نقاط آن یکسان باشد امواج در تمام  
جهات با سرعت ثابت در حرکت میباشد مثلاً امواج در سطح آب به شکل دایروی پخش میگردند.  
آزمایش نشان میدهد که؛

a - سرعت انتشار موج در یک محیط به شکل دامنه موج بستگی ندارد. به شرط آنکه تغییر شکل موج در اثر  
انتشار آن خیلی بزرگ نباشد.

b - سرعت انتشار موج در یک محیط به شرایط فیزیکی و جنسیت آن محیط تعلق دارد.



مثلاً سرعت انتشار موج در عرضی در طول یک طناب  
در حالت عادی از رابطه ذیل حساب

شکل (5-7)

میشود؛

$$V = \sqrt{\frac{F}{m}} \quad (7-1)$$

در اینجا  $F$  قوه کشش طناب بر حسب نیوتن و  $m$  کتله واحد طول طناب و  $V$  سرعت  
انتشار موج به  $m/Sec$  میباشد. مثلاً سرعت انتشار یک ضربه در یک طناب (موج عرضی)

به طول 5 m و به کتله 0,5 Kg که به قوه 10 nt کش شده است مساوی است به :

$$v = \sqrt{\frac{F}{m}} = \sqrt{\frac{10}{0,5}} = \sqrt{\frac{10}{0,1}} = \sqrt{100} = 10 \text{ m/Sec}$$

## 5-7 طول موج :

طول موج بنا بر تعریف طولی است که موج در یک پریودی پیماید . هرگاه منبع مؤلفه موج دارای حرکت نوسانی ساده با فریکوئسی F و پریود T باشد و امواج حاصل از این منبع با سرعت V در یک محیط منتشر شوند طول موج به ساس تعریف فوق به شکل ذیل نوشته می شود .

$$\lambda = VT = \frac{V}{F} \dots \dots \dots (7-1)$$

شکل (2-7) نشان میدهد که طول موج فاصله بین دو نقطه متوالی از محیط انتشار موج است که وضع اهتزاز آن یکسان میباشد . باید متوجه بود که T یا F خصوصیت حرکت اهتزازی منبع مرتعش بوده و V خصوصیت محیط است که حرکت اهتزاز در آن انتشاری نماید بنا بر آن اهمیت رابطه (2-7) در این است که ارتباط بین این خصوصیت ها را نشان میدهد .

## 6-7 بررسی وضع اهتزازی بر نقطه از محیط انتشار :

میخواهیم وضع اهتزاز یک نقطه غیر مشخص محیط انتشار موج را که به فاصله X از مبدأ ارتعاش واقع است در یک لحظه غیر مشخص t بررسی کنیم شکل (6-7) وضعیت یک طناب را موقعی نشان میدهد که نقطه O (سر طناب) دو ارتعاش کامل در جهت عمود بر طناب انجام داده و به محل آغاز حرکت خود بازگشت نموده است و امواج حاصل از این حرکت در طول طناب منتشر شده اند .

مبدأ زمان  $t_0 = 0$  را طوری انتخاب نموده ایم که بُعد اولیه نقطه O صفر بوده اگر دامنه ارتعاش مبدأ O را به ۲ نشان دهیم بعد حرکت آن در لحظه غیر مشخص t مساوی خواهد بود به :

$$y_0 = r \sin \omega t$$

$$y_0 = r \sin \frac{2\pi}{T} t$$

در لحظه که مبدأ (۰)، پس از انجام یک نوسان کامل میخوابد نوسان بعدی را شروع کند، نقطه D به فاصله  $\lambda = v \cdot T$  از مبدأ (۰)، واقع است. تشخیص نوسان خود را نسبت به نقطه (۰)، پس از گذشت زمان  $t_D = T = \frac{\lambda}{v}$  آغاز میکند به همین ترتیب حرکت ارتعاشی یک نقطه غیر مشخص مانند M که به فاصله x از مبدأ (۰) واقع است پس از گذشت زمان  $t_M = \frac{x}{v}$  آغاز میشود به عبارت دیگر حرکت ارتعاشی نقطه M نسبت به حرکت ارتعاشی مبدأ (۰) به اندازه زمان  $t_M = \frac{x}{v}$  تاخیر دارد بنابراین اگر کاهش دامنه نوسان به سبب اصطکاک خورد باشد، میتوان گفت که بعد حرکت ارتعاشی نقطه M در لحظه t همان است که نقطه (۰) در لحظه  $t - t_M$  داشت یعنی:

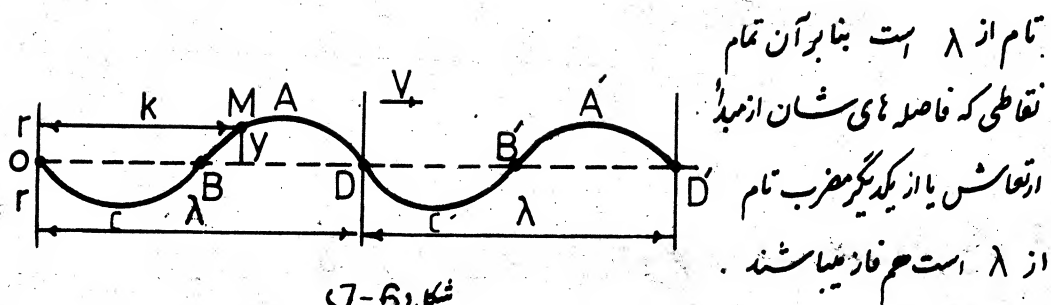
$$y_M = r \sin \frac{2\pi}{T} (t - t_M)$$

اگر عوض  $t_M$  مقدار  $\frac{x}{v}$  و به جای  $vT$  معادل آن  $\lambda$  را بگذاریم خواهیم داشت

$$y_M = r \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

زاویه  $2\pi \frac{x}{\lambda}$  را فرق فاز بین حرکت های ارتعاشی نقطه M و مبدأ (۰) می نامند اگر حرکت ارتعاشی نقطه مبدأ (۰)، ادامه یابد در طول طناب نقاط مانند D و D' و غیره یافت می شوند که با مبدأ (۰)، در یک وضع ارتعاشی قرار دارند.

فاصله این نقاط از مبدأ به ترتیب  $\lambda$  و  $2\lambda$  و ...  $K\lambda$  است (K عدد نام مثبت می باشد). میگوئیم که این نقاط با مبدأ هم فاز میباشند. فاصله این نقاط از یک دیگر مضرب



شکل (6-7)  
چگونه با استفاده از فرقی فاز  $2\pi \frac{x}{\lambda}$  میتوان این کیفیت را با محاسبه نشان داد؟

نقاط A و A' به اعظمی ترین تغییر مکان خود در جهت بالا رسیده اند بنا بر آن این نقاط نیز باید یکدیگر هم فاز میباشند ولی جهت حرکت نقطه‌ای مرتعش A و C مخالف یکدیگر اند و میگوئیم که این نقاط با یکدیگر در فاز مقابل هستند. نقاط مانند B و B' در طول طناب وجود دارند که با مبدأ در فاز متقابل اند یعنی جهت حرکت و سرعت آنها خلاف جهت حرکت و سرعت مبدأ میباشند فاصله این نقاط از مبدأ به ترتیب  $\frac{\lambda}{2}$ ،  $3\frac{\lambda}{2}$ ،  $5\frac{\lambda}{2}$ ، ...،  $(2k+1)\frac{\lambda}{2}$  است

به صورت عموم نقاطی که فاصله آنها از مبدأ ارتعاش یا از یکدیگر مضرب فردی از نصف طول موج باشد نسبت به مبدأ یا نسبت به هم در فاز مقابل اند.

## 7-7 تداخل

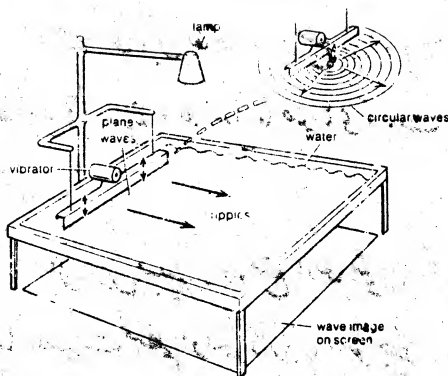
اگر دو منبع تولید ارتعاشات سینوسی هم پیروی و هم در یک محیط به طوری منظم با هم به اخترازد در آیند امواج حاصل از آنها عین انتشار در محیط مد یکدیگر داخل می شوند و در هر نقطه از محیط بعدی حرکت نظر به اصل ترکیب حرکات اخترازی کم دامنه با هم ترکیب شده موج‌های ساکن خاص را به وجود می آورند در این حالت میگوئیم پدیده (تداخل) به میان آمده است.

شکل (7-7) تداخل امواج حاصل از دو منبع مختنر زخم فاز دو هم پیروی را بر سطح آب استاده و آرام در یک تانک امواج اراییه میکند.

تلفات امواج بیک و سید تجربی برای بررسی حرکت امواج میباشد و عبارت از یک ظرف شیشی است که روی یک چارپایه گذاشته شده است. در این ظرف تا ارتفاع یک یا دو سانتی متر

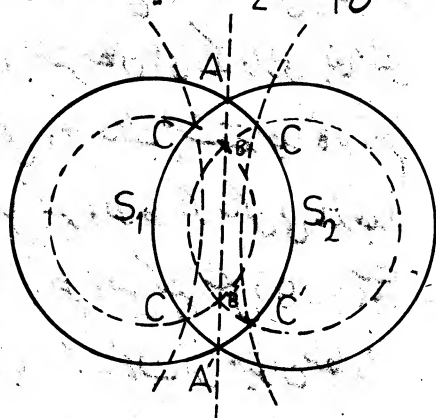


آب انداخته میشود. منبع ایجاد موج معمولاً در وسط یکی از کناره های ظرف قرار دارد. بایک چراغ روشن که بالاتر از سطح آب نصب می شود تصویر امواج را روی یک پرده سفید میتوان انداخت. برای تشریح پدیده تداخل فرض می کنیم که دو منبع تولید موج همزمان شروع به ارتعاش نمایند حرکت حاصل از یک ارتعاش کل هر یک از این دو منبع به شکل یک موج



-7

کامل دایروی شکل که شامل یک فرد رنگی و یک برجستگی است و بر سطح آب منتشر می شود و در شکل (7-8)، حالتی را نشان داده ایم که دو منبع ارتعاش  $S_1$  و  $S_2$  فقط یک نوسان کامل انجام



شکل (7-8)

داده اند و امواج حاصل از آنها در یکدیگر تداخل می نمایند در این شکل برجستگی هر موج به صورت دایره درشت و فرد رنگی به شکل دایره های نقطه چین نمایش داده شده است.  $A$  و  $A'$  نقاطی اند که برجستگی های دو موج در آنها با یکدیگر تلاقی کرده اند.

در این نقاط دو موج هم فاز اند و دامنه های آنها با هم اضافه میشوند. یعنی در این نقاط

به وقفه‌ای کوچک زمان  $\Delta t$  تقسیم می‌نمایم پس فواصل مربوط به این وقفه‌ای زمان را متحرک می‌پایید عبارت از مساحت تمام قسمت‌های تقسیم شده مثلاً EFGH می‌باشد مانند شکل ( 9 - 1 )

فاصله کلی در زمان  $t$  عبارت از مجموعه سطوح کوچک شکل فوق که مساوی مساحت ABCD است می‌باشد .

مساحت مثلث CID + مساحت مستطیل ABID = مساحت ABCD

$$\text{مساحت ABCD} = AB \times AD + \frac{1}{2}(DI \times IC)$$

چون  $DI = AB$  و  $IC = BC - BI$  است بنا بر این داریم

$$\text{مساحت ABCD} = AB \times AD + \frac{1}{2} AB (BC - BI)$$

با در نظر داشت قیمت  $AD = BI$  داریم که

$$\text{مساحت ABCD} = AB \times AD + \frac{1}{2} AB (BC - AD)$$

$$= AB \left\{ AD + \frac{1}{2} (BC - AD) \right\}$$

$$= AB \times \left\{ AD + \frac{1}{2} BC - \frac{1}{2} AD \right\}$$

$$= AB \times \frac{AD + BC}{2}$$

چون  $AB = t$  ،  $AD = V_0$  و  $BC = V_t$

$$\text{مساحت ABCD} = \frac{V_t + V_0}{2} \cdot t \dots \dots \dots 5$$

از رابطه ( 4 ) می‌دانیم که  $V_t = V_0 + at$  و فاصله  $d$  مساوی مساحت ABCD است بنا بر این

$$d = \frac{V_0 + V_0 + at}{2} \times t$$

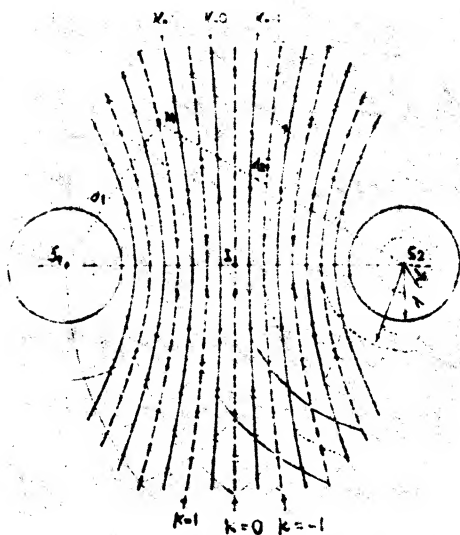
$$d = \frac{2V_0 t}{2} + \frac{1}{2} at^2$$

$$d = V_0 t + \frac{1}{2} at^2 \dots \dots \dots 6$$

ارتعاش مایکول های آب بیشترین مقدار خود را دارد. در نقاط  $B$  و  $B'$  که دو فرو رفتگی با هم تطابق کرده است عمق فرو رفتگی در سطح آب نیز اعظمی می باشد. در این نقاط هم دو موج هم فاز هستند و دامنه ارتعاش آنها با هم ضافه می شود ولی نقاط مانند  $C$  و  $C'$  دو موج در فاز متقابل به هم می رسند. در نتیجه تغییر مکان در آن محیط در این نقاط در جهت مخالف است. بنابراین اثر یکدیگر را خنثی می کنند. و چون دامنه ارتعاش یکی است این نقاط بی حرکت می مانند.

نقاط  $A, A', B, B'$  که بیشترین دامنه حرکت را دارند روی عمود ماصف  $S_1 S_2$  واقع اند. فاصله های این نقاط از دو منبع  $S_1$  و  $S_2$  یکی است. نقاط ساکن  $C$  و  $C'$  روی منحنی های نقطه چین قرار دارند و تقاضا فاصله های آنها از منبع  $S_1$  و  $S_2$  مساوی به نصف طول موج  $(\frac{\lambda}{2})$  باشد.

حال فرض میکنیم که دو منبع ارتعاشی  $S_1$  و  $S_2$  همزمان شروع به ارتعاش نموده و همنوا از



شکل (9-7)

آنها بصورت منظم ادامه دارد. امواجیکه در اثر ارتعاش این دو منبع پخش میشوند در تمام نقاط سطح آب تداخل میکند. اگر مانند بیشتر مکان های راکه دارای ارتعاش اعظمی و هم حالت هستند جدا گانه به هم وصل کنیم و نقاط راکه ساکن می ماند جدا گانه به هم وصل کنیم شکل (9-7) بدست می آید. که به کمک آن میتوان منظره

واقعی تداخل را که در شکل قبلی دیدیم تشریح کرد در شکل (9-7) منحنی های نقطه چین محل های همدوسی نقاط است که دامنه ارتعاش آنها اعظمی است امواجیکه از دو منبع  $S_1$  و  $S_2$

به این نقاط میرسند هم فاز میباشد و این در صورتی است که یا فاصله های این نقاط از دو منبع ارتعاش مساوی باشند (یعنی نقاط به ناصف عمودی واقع باشند) و یا اینکه تفاضل فاصله های آنها از دو منبع ارتعاش مساوی به مضرب تمام از طول موج  $\lambda$  باشد یعنی:

$$d_2 - d_1 = k\lambda \quad \dots \dots \dots (1)$$

معنی اینکه به خط تیره نمایش داده شده اند محل های همبندی نقاط است که دامنه ارتعاش آنها صفر است. بنا بر این امواجی که به این نقاط میرسند نسبت به هم در فاز متقابل اند و این در صورتی است که اختلاف فاصله های این نقاط از دو منبع  $S_1$  و  $S_2$  مساوی به مضرب طاق از نصف طول موج باشد یعنی:

$$d_2 - d_1 = (K + \frac{1}{2})\lambda = (2K + 1) \frac{\lambda}{2} \quad \dots \dots \dots (2)$$

بصورت عموم در هر جا که دو منبع ارتعاشی همزمان و هم پرورد وجود داشته باشد پدیده تداخل صورت می گیرد. تداخل امواج را در آب ایستاده و در طول طناب به چشم دیده میتوانیم. تداخل امواج صوتی را سینه میتوان با قرار دادن دو لود اسپیکر کوچک مقابل هم که بایک منبع صوت وصل شده باشد تشخیص کرد در نقاط که دامنه امواج صوتی حاصل از دو لود اسپیکر کوچک به هم اضافه می شود صدای قوی است ولی در نقاط که امواج صوتی حاصل از دو اسپیکر اثر یکدیگر را خنثی می سازد دامنه ارتعاش صفر است و صدای شنیده نمیشود. پدیده تداخل در نور و امواج الکترومغناطیسی نیز صورت میگیرد.

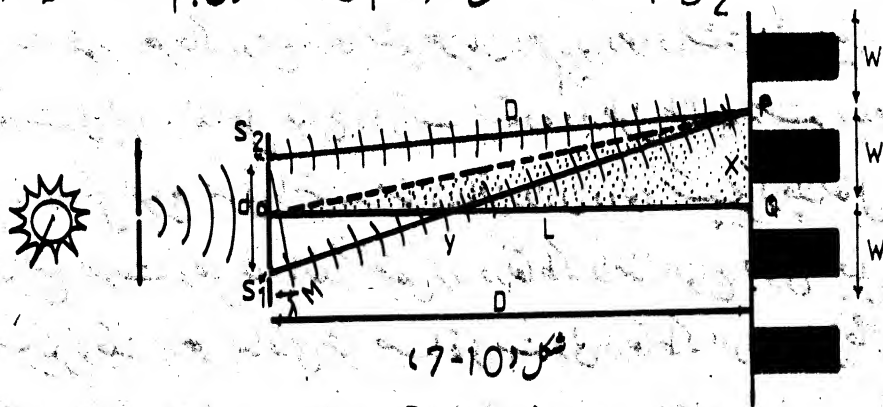
## 7-8 محاسبه طول موج؛

برای دریافت طول موج  $(\lambda)$  باید سه مقدار ذیل معین باشد. فاصله  $(S)$  بین دو درز موازی  $S_1$  و  $S_2$  طول  $D$  یعنی فاصله بین  $OQ$  و یک خط یا فاصله در

و موازی به  $S_1$  و  $S_2$  فاصله بین مرکز نقاط روشن و یا نقاط تاریک و  $OP = L$  و فاصله نقطه  $P$  تا  $O$  باشد.

موجهای که از منبع  $S_1$  به نقطه  $P$  میرسند نسبت به امواجی که از نقطه  $S_2$  به این نقطه میرسند فاصله زیادتر را می پیماید. اگر این اختلاف مساوی به  $\lambda$ ،  $2\lambda$  یا  $3\lambda$  باشد این امواج در نقطه  $P$  هم فاز هستند در نتیجه دامنه های ارتعاش آنها با هم افزوده میشود دامنه شدت موج در نقطه  $P$  اعظمی است. ولی اگر اختلاف  $S_1P - S_2P$  مساوی  $\frac{\lambda}{2}$ ،  $\frac{3\lambda}{2}$  و یا بطور عمومی  $(2K+1)\frac{\lambda}{2}$  باشد امواجی که از دو منبع به این نقطه میرسند در فاز متقابل هستند. در نتیجه دامنه شدت موج در این نقطه صفر می باشد.

برای محاسبه  $\lambda$ ، قوس  $MS_2$  را به مرکز  $P$  و به شعاع  $PS_2$  رسم میکنیم در این صورت  $MP = PS_2$  و طول قوس  $MS_1$  مساوی به اختلاف فاصله نقطه  $P$  از



دو منبع  $S_1$  و  $S_2$  می باشد اگر  $d$  نسبت به  $\frac{D}{\lambda}$  خیلی کوچک باشد قوس  $MS_2$  را که قوس بسیار کوچک از دایره است، و میتوان آن را عملاً معادل یک قطعه خط مستقیم در نظر گرفت زاویه  $S_1MS_2$  نیز خیلی نزدیک به  $90^\circ$  خواهد بود. طوریکه میتوان مثلث  $S_1S_2M$  را قائم الزاویه دانست علاوه بر این دو زاویه  $S_1S_2M$  و  $POQ$  نیز با هم مساوی اند بنابراین نظر به تشابه مثلثات  $S_1S_2M$  و  $POQ$  خواهیم داشت.

$$\frac{S_1 M}{d} = \frac{x}{L}$$

اگر فاصله D نظریه x بزرگ باشد طول های D و L تقریباً برابر خواهند بود. اگر دامنه یا شدت در نقطه P اعظمی باشد  $S_1 M = K \lambda$  است و خواهیم داشت:

$$\frac{K \lambda}{d} = \frac{x}{D}$$

$$\lambda = \frac{x \cdot d}{K \cdot D} \dots \dots \dots (3)$$

با اندازه گیری فواصل d ، x و D طول موج  $\lambda$  حساب شده میتواند. اگر  $K=0$  باشد نقطه P روی نقطه Q و به قیمت  $K=1$  نقطه P یک نقطه ساکن است. واحد اندازه گیری امواج انگلستردم بوده یک انگلستردم  $10^{-8} \text{ cm}$  میباشد یعنی:

$$1 \text{ A}^\circ = 10^{-8} \text{ cm}$$

مثال :- درزه ای را در نظر میگیریم که از هیدرژن به فاصله  $5,6 \times 10^{-4} \text{ cm}$  واقع بوده و در مقابل یک فلم عکاسی که به فاصله 20cm از آنها واقع است قرار دارند. درزه ذریعه نور مونوکروماتیک روشن گردیده و بعد از یک وقت فلم یک سلسله نوارهای روشن و نشان میدهد که از هیدرژن به فاصله  $0,15 \text{ cm}$  واقع اند طول موج نور را حساب کنید از شکل گذشته داریم:

$$S_1 M = \lambda = \frac{d \cdot x}{L}$$

$$\lambda = \frac{5,6 \times 10^{-4} \times 0,15}{20}$$

$$\lambda = 0,042 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

$$\lambda = 0,042 \times 10^{-4} \times 10^{-8} \text{ A}^\circ$$

$$\lambda = 0,042 \times 10^{-12} \text{ A}^\circ$$

## 9-7 طول موج و رنگ :

تجارب بانور سفید و فلتزهای رنگه نشان میدهند که رنگهای مختلف دارای طول موجهای متفاوت میباشد نور مرئی دارای طول موج بزرگ  $0.0007\text{mm}$  و حاشیهٔ وسیع و نوید بنفس دارای طول موج کوتاه و حدود  $0.0004\text{mm}$  و حاشیه کم وسعت میباشد. و طیفهای دیگر قابل دید نور سفید طول موج بین این دو مقدار را میگیرد. اگر نور سفید در تجربهٔ young's یا رنگ استعمال گردد حاشیه مرکزی سفید دارای یک رنگ مخلوط رنگها را نشان میدهد.

## تقریبات فصل هفتم

۱- اگر یک جسم مرتعش به حیث منبع اجتناب از قبول میشود باید کدام دو خاصیت مهم را داشته باشد تشریح کنید.

۲- امواج طولی و عرضی را تعریف نموده و فرقشان درجه است ؟

۳- امواج ساکن از یک محیط به محیط دیگر انتقال نمی شود. مثال این نوع امواج را معرفی دارید.

۴- محیط متجانس کدام محیط است معرفی نمائید.

۵- تداخل امواج کدام حادثهٔ فیزیکی را تشریح میکند بیان کنید.

## سوالات تکمیلی :

۱- امواجیکه روی سطح آب به شکل برجستگی و فرورفتگی دیده می شود و انتشار میکند ( امواج ) - نامیده میشود.

۲- در رابطه  $\lambda = VT$  ،  $\lambda$  ( ) و  $T$  ( ) را رایه میدارد.

۳- محیط متجانس همان محیط است که ( در تمام نقاط آن محیط یکسان میباشد )

۴- سرعت انتشار موج در یک محیط به شرایط ( ) آن محیط تعلق ندارد.

## سوالات محاسباتی :

۱- سرعت انتشار یک ضربه (موج عرضی) در یک طناب بطول 6m و کتله 0,6 Kg که به قوه 12nt کشی شود دریافت کنید.

جواب ( 10,95 m/Sec )

۲- سرعت انتشار یک موج عرضی در یک طناب به طول 15m که به قوه 20 nt کش میشود چند متر فی ثانیه خواهد بود. کتله طناب 0,8Kg است.

جواب ( 6 m/Sec )

۳- در معادله  $y_m = r \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$  ختلاف فاز را به شکل محاسباتی نشان دهید.

۴- درزای را در نظر بگیرید که از همدیگر به فاصله  $2,7 \times 10^{-6} \text{ cm}$  واقع بوده و در مقابل یک فیلم عکاسی که به فاصله 10cm از آن واقع است قرار دارد. درزا توسط قوه مونوکروماتیک روشن شده که از هم به فاصله  $0,20 \text{ cm}$  واقع اند طول موج نور را حساب کنید.

۵- یک جسم روی یک خط مستقیم حرکت نوسانی را اجرا میکند اگر غلظی ترین مقدار سرعت آن  $0,47 \text{ m/Sec}$  و زمان سپری بود آن  $T = 0,8 \text{ Sec}$  باشد. دامنه حرکت آن را پیدا کنید.

جواب (  $r = 5,98$  )

۶- یک انجم طناب را با حرکت نوسانی ساده عمود بر استقامت طناب به فریکوئسی  $2,5 \text{ Hz}$  به نوسانی آوریم. اگر سرعت انتشار امواج در طول طناب  $10 \text{ m/Sec}$  باشد :

a- طول موج را پیدا کنید

b- اگر کتله هر متر طناب  $50 \text{ gr}$  باشد طناب به چه قوه کش شده است.

# فصل ششم

## صوت

### 1-8 امواج صوتی :

این امواج مانند امواج نوری حرکت میکنند ولی امواج صوتی در خاصیت و طبیعت خود از امواج نوری منفرق دارد. امواج صوتی از انواع امواج میخانیکی است که توسط اختلالات اجسام تولید می شود و در مایعات، گازات و جامدات منتشر می گردد. وقتی که امواج صوتی به پرده حساس گوش برخورد کند گوش حساس شنیدن میکند در اینجا صوت را به شکل یک حرکت اختلازی ( ارتعاشی ) مطالعه می نمائیم. خواص موجی آن را مانند فرکانسی، طول موج، سرعت انتشار، طرز تولید، طرز انتشار، انعکاس و انکسار را از نظر میگردانیم.



### 2-8 امواج طولی :

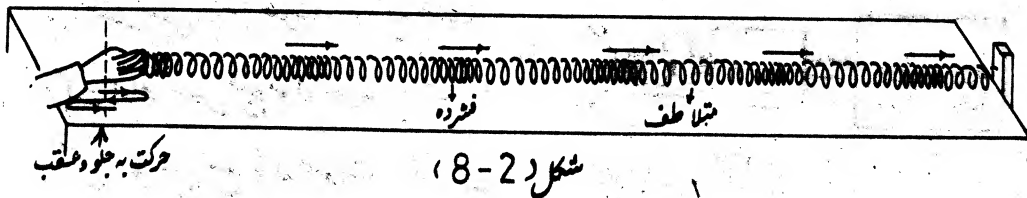
وقتی که یک ذره ای به موج صوتی به اختلاز در آورده شود مانند شکل ( 1-8 ) امواج مولد از آن به هوا منتشر میشود امواج حاصله را امواج طولی میگویند.

همچنان امواج طولی را توسط یک فنر نیز تولید کرده میتوانیم طریقه در شکل ذیل دیده میشود امواج طولی توسط حرکت آبی فنر به طرف پس و پیش ( جلو و عقب ) تولید میگردد. اختلالات از یک حلقه به حلقه دیگر فنر انتقال

شکل ( 1-8 )

می نماید. در امتداد فنر حلقه های متراکم و فشرده و حلقه های به فاصله های بیشتر از هم دیگر دیده می شوند.

در امواج طولی نوسان به امتداد حرکت موج واقع میگردد یعنی نوسان به طرف جلو و عقب صورت میگیرد نه به یک پهلو و دیگر پهلو ی جسم مهتز. معادله ذیل سرعت موج را ارائه میکند.



طول موج  $\times$  فریکوئنسی = سرعت

$$v = f \lambda$$

سرعت به  $\frac{m}{sec}$  اندازه خواهد شد اگر فریکوئنسی به هرتز و طول موج به متر اندازه میشوند.

### 3-8 تولید و انتشار صوت

میدانیم که صوت در اثر اهتزاز اجسام تولید میشود منبع صوت میتواند یک جسم جامد مثلاً یک سیم باریک، پنجه صوتی، زنگ برقی و غیره و یا یک کتله معینی از هوا باشد. مانند ارتعاشات هوا درون ستون های هوایی. منبع تولید صوت ممکن است مانند پنجه صوتی با ارتعاشات ساده خود صوت ساده را تولید کند و یا مانند حوضه صوت مرکب را تولید نماید.

توسط دستگاه های الکترونیکی در لابراتوار میتوان نوسانهای برقی با فریکوئنسی دلخواه مثلاً بین (10 هرتز تا 100 کیلو هرتز) را تولید کرد. و آنها را پس از تقویت روی یک محدوده اسپیکر فرستاد درلود اسپیکر چنان که میدانند نوسانهای برقی دستگاه به ارتعاش های میخانیکی یک صفحه نازک به همان فریکوئنسی قبلی تبدیل میگردد. در شکل (3-8) یک طرح ساده این دستگاه رسم گردیده.

ولی گوش انسان طوری که میدانید صوت با فریکوئنسی 20 H هرتز تا 20000 H هرتز را

بطور اوسط میتواند شنید.

هرتز با فریکوئنسی های مادر صوت می نامند صوتیکه از یک

فریکوئنسی های بالاتر از

منبع صوت تولید میشود. آثابه گوش نمیرسد

بلکه با سرعت که از سرعت نور خیلی کمتر است در

هوا منتشر میگردد. انتشار صوت در واقع انتشار

حرکت ارتعاشی منبع مؤلف صوت است بنا

بر آن باید بین منبع مؤلف صوت و گوش

موج صوت شکل (3-8)

یک محیط الاستیکی موجود باشد تا این انرژی میخانیکی را انتقال دهد.

#### 4-8 سرعت انتشار صوت؛

الف سرعت صوت در گازات؛ در فصل گذشته در مورد امواج صوتی آموختیم که سرعت

این امواج در یک محیط مربوط به خاصیت الاستیکی آن محیط میباشد. در گازات خاصیت

الاستیکی به خاصیت ترمودینامیکی گازات (یعنی تغییرات فشار و حجم گاز)، در ناحیه که حرکت ارتعاشی

منتشر میشود بستگی دارد. سرعت صوت در گازهای کامل از رابطه ذیل که بنام فورمول "لاپلاس"

مشهور است حساب میشود.

$$v = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

که در آن  $P$  فشار گاز،  $\rho$  کثافت گاز و  $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$  (حرف یونانی گاما) نسبت

ظرفیت حرارت مخصوصه گاز در فشار ثابت ( $C_P$ ) بر ظرفیت حرارت مخصوصه گاز در حجم

ثابت ( $C_V$ ) است. ظرفیت های حرارت مخصوصه  $C_P$  و  $C_V$  از یک گاز نظریه دیگر

متفاوت است ولی نسبت  $\frac{C_P}{C_V}$  برای گازهای که مایکول های آن دارای تعداد مساوی

از اتموم است یکسان میباشد.

اندازه  $\gamma$  برای گازهای یک اتمی مانند آرگن ( $A$ )، نئون  $Ne$  و گازهای

گمیاب دیگر تقریباً 1,67 و برای گازهای دو اتمی مانند اکسیجن، هایدروجن و نایتروجن

و هم چنین برای هوا که تقریباً  $\frac{4}{5}$  حه آن نایتروجن و  $\frac{1}{5}$  آن اکسیجن است تقریباً 1,40 و برای گازهای سه اتمی  $\text{CO}_2$  تقریباً 1,33 میباشد از حرارت میدانیم که برای یک گاز که حجم آن در حرارت مطلق  $T$  و فشار  $P$  مساوی به  $V$  است نسبت  $\frac{PV}{T}$  یک مقدار ثابت میباشد. اگر یک مایکول گاز گرم را در نظر بگیریم و حجم آن در فشار  $P$  و حرارت  $T$  به  $V_m$  نشان دهیم نسبت  $\frac{P \cdot V_m}{T}$  نیز مقدار ثابت است که به فشار و حرارت گاز بستگی ندارد. این مقدار ثابت را به  $R$  نشان میدهم.

$$\frac{P \cdot V_m}{T} = \frac{P_1 V_{m1}}{T_1} = \dots = R \quad (2)$$

$R$  برای تمام گازهای کامل مقدار ثابت میباشد و بنام ثابت عمومی گازهای کامل یاد میشود. گاز کامل گاز است که تغییرات حجم و فشارش با حرارت مطلق گاز تابع قانون عمومی گاز  $(\frac{PV}{T} = \text{const})$  باشد. اگر عوض  $P = \frac{RT}{V_m}$  در رابطه (1)، قیمت آن را از رابطه (2)، وضع کنیم خواهیم داشت.

$$V = \sqrt{\gamma \frac{RT}{P V_m}} \quad (3)$$

$P V$  (یعنی حاصل ضرب کثافت گاز در حجم مایکول گرم آن گاز) مساوی به کثتد مایکولی گاز است که آن را به  $M$  نشان میدهند بنابراین داریم:

$$V = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}} \quad (4)$$

مقدار ثابت عمومی گازهای کامل  $R$ ، مساوی به 8,314  $\frac{\text{ژول}}{\text{مول} \times \text{درجه کلوین}}$  است  $(\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}})$  و  $\gamma$  هم برای یک گاز مورد نظر مقدار ثابتی میباشد مثلاً اگر هوا را گاز کامل قبول کنیم سرعت صوت در هوا در صفر درجه سلسیوس یعنی  $(273^\circ \text{K})$  که کثتد مایکولی متوسط آن تقریباً

هم چنان با دریافت قیمت از رابطه ( 4 )

و گذاشتن آن در معادله ( 5 ) داریم .

$$t = \frac{V_t - V_0}{a}$$

$$d = \frac{V_0 + V_t}{2} \times \frac{V_t - V_0}{a}$$

نظر به معادله ( 5 ) داریم

$$d = \frac{V_t^2 - V_0^2}{2a}$$

$$2ad = V_t^2 - V_0^2 \dots\dots\dots 7$$

بنابراین ما برای حرکت تعجیلی معادلات ذیل را دریافت نمودیم :

$$V_t = V_0 + at \dots\dots\dots 4$$

$$d = V_0 t + \frac{1}{2} at^2 \dots\dots\dots 6$$

$$V_t^2 - V_0^2 = 2ad \dots\dots\dots 7$$

این سه معادله را برای حل پارامترهای مختلف راجع به حرکت تعجیلی منظم استعمال می نمائیم .

مثال : یک موتور از حالت سکون  $V_0 = 0$  با تعجیل  $0,1 \text{ m/sec}^2$  شروع به حرکت نموده

مطلوب است سرعت موتور و فاصله طی شده بعد از مدت 2 دقیقه ؟

$$V_0 = 0$$

$$V_t = V_0 + at$$

حل قسمت اول :

$$a = 0,1 \text{ m/sec}^2$$

$$V_t = at$$

$$t = 2 \text{ min}$$

$$V_t = 0,1 \text{ m/sec}^2 \times 120 \text{ sec}$$

$$V_t = ?$$

$$= 12 \text{ m/sec}$$

$$d = ?$$

$$d = V_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$d = 0 \times t + \frac{1}{2} (0,1 \text{ m/sec}^2) (120 \text{ sec})^2$$

29 گرم / مول یا  $29 \times 10^{-3}$  کیلوگرم / مول و  $\gamma = 1,40$  است برابر خواهد بود به :

$$V_0 = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}}$$

$$= \sqrt{\frac{1,40 \times 8,314 \times 273}{29 \times 10^{-3}}}$$

$$\approx 331 \text{ m/Sec}$$

این سرعت با مقدار یک بصورت مستقیم در مینائیک اندازه شد تقریباً مطابقت دارد.

5-8 سرعت صوت در جامدات و مایعات :

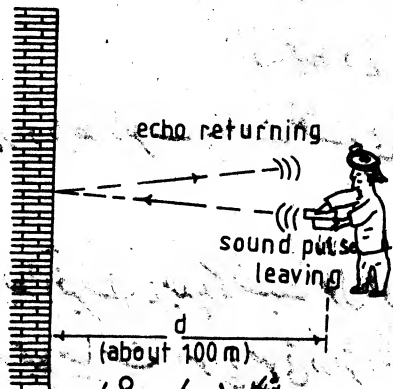
سرعت صوت در جامدات بیشتر نظریه مایعات و در مایعات بیشتر نظریه گازات میباشد. در جدول

ذیل سرعت صوت چند گاز، مایع و جامد طوری تعایسوی داده شده است.

نوع ماده	سرعت صوت ( $\frac{\text{m}}{\text{Sec}}$ )
هوا در صفر درجه سانتی گریه	331
" " " " " ( $\text{CO}_2$ )	258
" " " " " ( $\text{CO}$ )	337
آب	1435
الکل	1213
بنزین	1166
المونیم	5106
آهن	5120
چوب بلوط	2850
شیشه	5500

سرعت صوت تابع فشار میباشد طوری مثال اگر فشار اتموسفر تغییر نکند در سرعت صوت هیچ تغییر دیده نمیشود ولی اگر درجه حرارت بلند گردد سرعت صوت نیز زیاد میشود. در ارتفاعات بلند سرعت صوت کمتر از سرعت آن در سطح بحر میباشد و این بخاطر اینست که درجه حرارت در ارتفاع بلندتر است بخاطر اینکه فشار در ارتفاع بالا کمتر است.

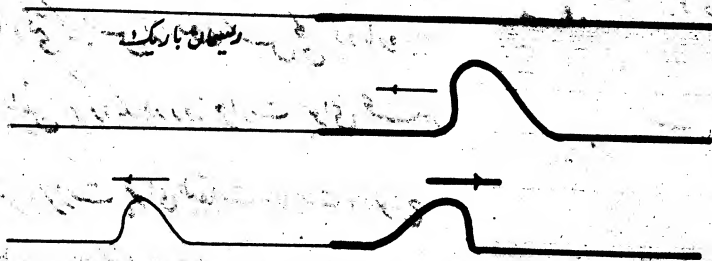
## 6-8 انعکاس صوت



شکل (4-8)

وقتی که امواج صوتی به مانع برخورد میکنند یا به محیط میرسد که غلظت آن بیشتر و یا زیادتر نسبت به محیط اولی باشد صوت باقی میماند و این امواج از مانع و یا فصل مشترک برود محیط منعکس میگردد.

قسمتی از آن در محیط جدید پیش میرود. اگر محیط دوم کاملاً سخت باشد موج وارده صوت کاملاً منعکس میگردد. تجربه به ما در دریاچه سبک و باریک و سنگین و ضخیم را مانند شکل در نظر گیرید. اول دریاچه سبک یک خلال تولید نمائید این خلال زمانیکه در نقطه اتصال برود دریاچه میرسد قسمتی منعکس و قسمتی به پیش میرود و در دریاچه سنگین تولید موج میکند ولی موجیکه در دریاچه سبک منعکس میشود دارای جهت معکوس میباشد. اگر این خلال در دریاچه ضخیم تولید شود باز هم قسمتی در جهت اتصال برود دریاچه منعکس و قسمتی سبب تولید موج در دریاچه کم فضا مت میگردد.



شکل (5-8)

## 7-8 انکسار امواج صوتی

وقتی که امواج متناوب از یک محیط داخل محیط دیگر میگردد سرعت انتشار آنها در نتیجه

طول موج شان تغییر میخورد اگر رابط بین طول موج و فرکانسی برای هر دو محیط (۱) و (۲) را بنویسیم در آن صورت داریم :

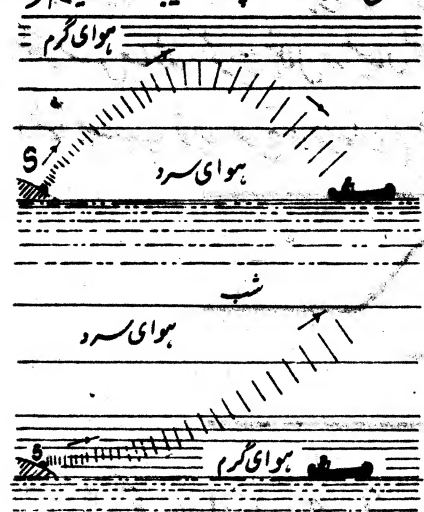
در محیط (۱)  $V_1 = \lambda_1 \cdot f$  . . . . .

در محیط (۲)  $V_2 = \lambda_2 \cdot f$  . . . . .

هر دو رابط را طرف به طرف تقسیم می نمایم :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

رابط اخیر نشان میدهد که نسبت طول موجی موج در دو محیط مستوی به نسبت سرعت های موج در آن دو محیط میباشد. امواج صوتی در اثر انکسار در طبقات مختلف از فضا که فشار آن متفاوت است مسیر خود را تغییر میدهد. زیرا چنانکه دیدیم سرعت صوت در هوای گرم بیشتر نظر به هوای سرد میباشد مثلاً گشتی دانی روی یکت دریاچه در شب صدای رادیو را خوبتری شنود در حالیکه در روز به خوبی شنیده نمیشود علت آن نیست که در شب هوای محب در آن دریاچه سرد و از طبقات بالا گرم میباشد در نتیجه سرعت صوت در طبقات بالا بیشتر نسبت به سرعت آن در طبقات پایین میباشد. این امر سبب



میشود که امواج صوتی در طبقات مختلف هوا طوری انکسار کنند که زاویه میل آنها به تدریج افزایش یابد. تا وقتی که پس از انحراف کلی دوباره به طرف پایین برگردند در روز حرارت هوای محب در آب بیشتر از حرارت هوای طبقات بالا است و امواج صوتی به طرف بالا انحراف میکند.

۸-۵ مشخصات صوت :

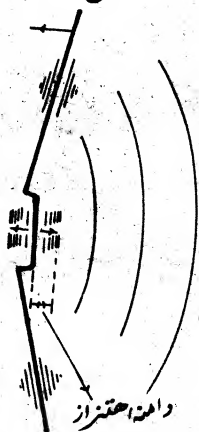
شکل (۶-۸)

اصوات را معمولاً به دو دسته تقسیم میکنند اصوات آهنگ دار و اصوات بی آهنگ. اصوات

آهنگ دار مانند صوت موسیقی به صوت های گفته می شود که در گوش اثر خراشنده نمیگذارد  
صوت های که در گوش اثر نامطلوب میگذارد صدای بی آهنگ نامیده میشود. مانند صدای تفنگ  
و غیره حال ما بعضی از مشخصات صوت را مطالعه میکنیم :

### 9-8 دامنه ، بلندی و شدت صوت :

بلندی صوت خصوصیت های تمام اصوات اعم از صوتهای موسیقی و صدای است که به  
میزان حساس گوش ارتباط دارد. بلندی هر صوت به شدت آن صوت تعلق دارد. و شدت صوت  
بنا بر تعریف ، مقدار انرژی صوتی است که در مدت یک ثانیه از واحد سطح عمود بر جهت انتشار امواج  
میگذرد. بنا بر آن شدت صوت یک کمیت فیزیکی است که به حساسیت گوش ارتباط ندارد در حالیکه بلندی  
صوت یک صفت فیزیکی است که هم به حساسیت گوش و هم به انرژی بستگی دارد. شدت صوت به  
دامنه اهتزاز فاصله شنونده از منبع صوت و نوعیت محیط انتشار بستگی و ارتباط دارد.



شکل (7-8)

وقتی که صفحه لود اسپیکر به اهتزاز آورده  
می شود دامنه اهتزاز عبارت از فاصله اعظمی  
پرده اهتزاز از لود اسپیکر است که به طرف پس  
و پیش طی می نماید .

اگر دامنه اهتزاز پرده لود اسپیکر بزرگ باشد  
به همان تناسب دامنه اهتزاز امواج صوتی و

یافته و صوت حاصل دارای انرژی بیشتر بوده و بگوش شنونده آواز بلند میرسد .

### 10-8 ارتفاع صوت :

ارتفاع صفت خاص صوت موسیقی است و با این صفت زیر و بم یک صوت از همدگر فرق شده  
میتواند ارتفاع صوت به فریکوئسی صوت بستگی دارد . هر قدر صوت زیر تر باشد فریکوئسی آن بیشتر است

اگر فریکوئنسی دو صوت یکی باشد ارتفاع آن دو صوت نیز یکی می باشد و صوت ۴ را هم صد میگویند .  
 11-8 اندازه سرعت صوت به کمک ریزونانس :

طول موج صوت حاصل از پنجه صوتی را میتوان با استحال سامان ۴ی که در شکل نشان داده شده اند دریافت کرد . با دانستن فریکوئنسی  $F$  پنجه صوتی سرعت صوت را در هوا از فرمول  $V = F \cdot \lambda$  حساب کرده میتوانیم . طول ستون هوا در یک تیوب میتواند به افزایش و کاهش آب در آن تیوب تغییر بخورد در مرحله اول یک قسمت کم تیوب دارای هوا باقی مانده آن از آب پر میشود . مقدار آب را آهسته ، آهسته کم ساخته تا اینکه غلبه ریزونانس در تیوب واقع شود . وقتی که پنجه به اهتزاز آورده شود و به طرف دهن باز تیوب شیشه ای نزدیک شود در آن صورت آب داخل تیوب به اهتزازات اساسی خود شروع میکند . بناؤ به کمک شکل میتوان نوشت که :

$$\frac{\lambda}{4} = L_1 + C \quad \dots\dots\dots (1)$$

در حالیکه  $\lambda$  طول موج و  $L$  ارتفاع ستون هوا و  $(C)$  عدد کوچکی است که افزایش و خط در موقعیت بطن را نشان میدهد .

ستون هوایی تیوب را بیشتر ساخته تا بار دیگر ریزونانس صورت گیرد . در این حالت

$$\frac{3}{4} \lambda = L_2 + C \quad \dots\dots\dots (2)$$

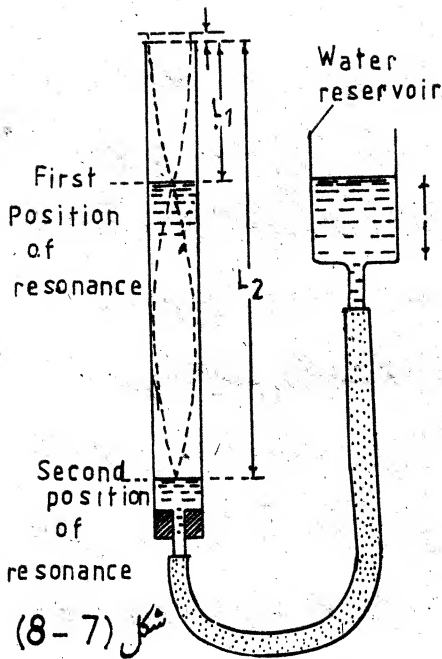
از تفریق رابطه (1) از رابطه (2) داریم :

$$\frac{3}{4} \lambda - \frac{\lambda}{4} = L_2 - L_1$$

$$\frac{\lambda}{2} = L_2 - L_1$$

$$\lambda = 2(L_2 - L_1)$$

یعنی تغییر ارتفاع ستون هوا در دو موقعیت اولی و دومی ریزونانس مساوی به نصف



طول موج می باشد. به این طریق میتوان  
 $\lambda$  طول موج را حساب کرد. فریکوئنسی  $f$   
 پنجه صوتی در یکی از شاخه ها، یا هر دو شاخه  
 پنجه صوتی ثابت شده. بناءً سرعت  
 موج را حوری ذیل میتوان دریافت کرد.

$$V = f \cdot \lambda$$

$$V = 2f(L_2 - L_1)$$

## 8-12 امواج الکترومغناطیسی؛

امواج نوری بسیار زیاد شامل طیف امواج الکترومغناطیسی میباشد. امواج الکترومغناطیسی، منابع  
 مختلف دارد. دلی امواج حاصل از این منابع دارای طول های موج مختلف و تأثیرات مختلف میباشد لکن دارای  
 خصوصیت های اساسی مشترک میباشد.

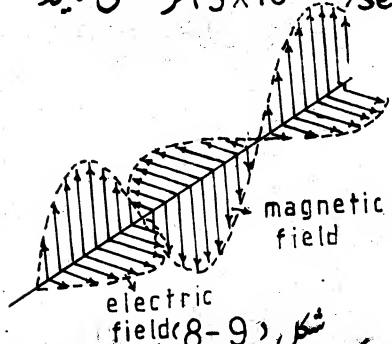
شکل (8-8)

## 8-13 خواص امواج الکترومغناطیسی؛

در شکل گذشته انواع مختلف طیف های موج الکترومغناطیسی نشان داده شده است.

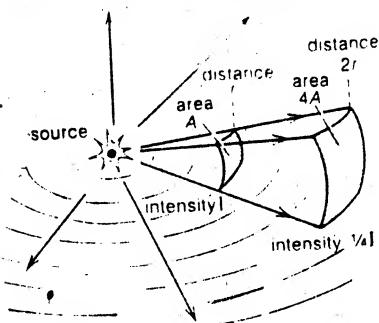
منظره ای مشترک در تمام این امواج به شکل خصوصیت های ذیل موجود است .

امواج به سرعت  $300,000 \text{ km/sec}$  در یک مسیر مستقیم در فضا آزاد حرکت کرده می تواند فضای آزاد محیطی را میگویند که در آن محیط ذرات آنقدر با هم نزدیک نباشد که سبب نفوذ امواج گردد . تمام امواج الکترومغناطیسی به سرعت نور  $(3 \times 10^8 \text{ km/sec})$  حرکت می نمایند .



امواج الکترومغناطیس در طبیعت خود برقی، مغناطیسی و متقاطع میباشند . حرکت امواج تابش است . اهتزازات ساحه برقی و مغناطیسی که عمود به هم و عمود بر مسیر حرکت امواج است میباشد .

مانند شکل (8-9)، امواج حاصل از منبع نقطوی از قانون معکوس مربع پیروی میکند . شدت امواج الکترومغناطیسی عبارت از اندازه انرژی موجی است که در هر ثانیه که از یک سطح که عمود بر مسیر موج است میگذرد . شدت موج یک وات بر متر مربع  $(\frac{1 \text{ W}}{\text{m}^2})$  خواهد بود اگر یک ژول انرژی موج از هر متر مربع یک سطح در یک ثانیه بگذرد .



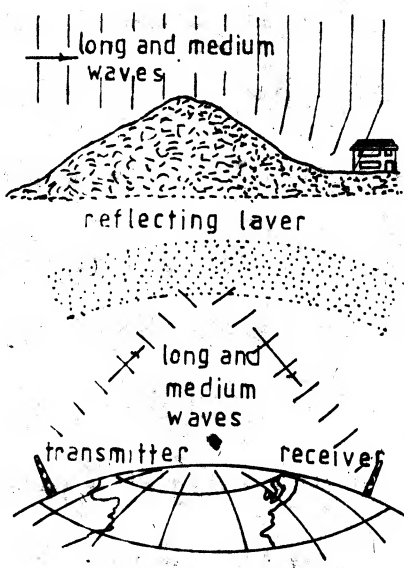
میدانید وقتی که نور از یک منبع نقطوی منتشر میشود شدت آن کم میگردد . زیرا امواج نوری هر قدر که از منبع دور می شوند سطح بیشتر را اشغال میکند مانند شکل (8-10)، اگر فاصله بین منبع و سطح مورد نظر دوچند میگردد شدت

این موج به  $\frac{1}{4}$  شدت ماقبل خود تقلیل می یابد . و اگر فاصله سه چند میشود شدت

به  $\frac{1}{9}$  ام شدت اولی خود میرسد یعنی کاهش و افزایش شدت امواج به معکوس مربع فاصله بین منبع و سطح مورد ضرورت ارتباط میگیرد و بشکل ریاضی داریم .

$$I \propto \frac{1}{r^2}$$

در حالیکه  $I$  شدت و  $r$  فاصله منبع می باشد و این بنام قانون معکوس مربع مسمی می باشد  
 چون  $C = f \times \lambda$  است  $C = 3 \times 10^8 \frac{m}{sec}$ ، سرعت نور  $\lambda$  طول موج و  $F$  فرکانس می باشد  
 و هم  $C$  عدد ثابت است. بزرگی فرکانسی کوچک بودن طول موج را سبب میشود  
 8-14 امواج الکترومقناطیسی از کجایی آیند؛



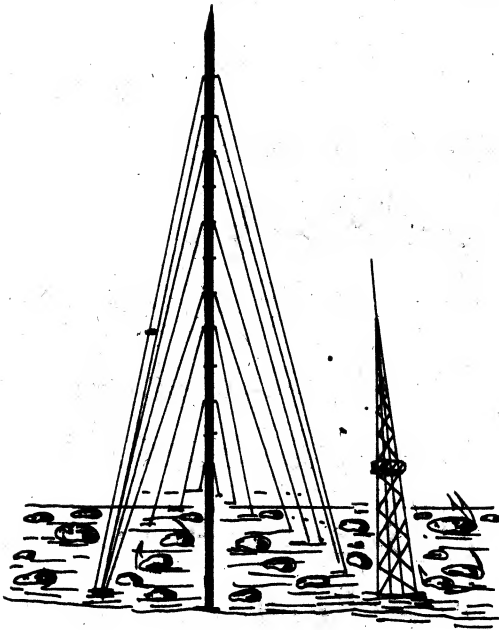
در حالیکه اتوم خود از ذرات خورده ساخته  
 شده که الکترون ها در مدارهای می چرخند  
 و هر ذره الکترون چارج برقی را انتقال  
 میدهد. امواج الکترومقناطیسی زمانی  
 پخش میشود که در انرژی الکترون تغییر  
 واقع شود. طوری مثال اگر الکترون به  
 مدار پایان دور هسته می آید و یا وقتی  
 که الکترون و یا هسته اهتزاز میکند  
 انرژی آن بصورت ثابت تغییر میکند.

شکل (8-11)

### 8-15 امواج رادیویی؛

امواج رادیویی بزرگترین طول موج را در طیف امواج الکترومقناطیسی دارا می باشد  
 و این امواج میتواند از اهتزاز الکترون در آنتن و هوا بوجود بیاید و سبب اتصال صوت  
 و معلومات تصویری در فاصله های زیاد گردد. امواج طویل و امواج متوسط دور دورترند

و پایه ها انکسار خواهد کرد.



شکل (8-12)

امواج تلویزیونی طول موج کوتاه را دارا می باشد این امواج در طبقات بلند اتموسفر انعکاس نمیکند بلکه وقتی از تپه ها میگذرد انکسار میکند. پس برای سهولت رسیدن امواج به TV باید یک راه مستقیم موج باشد و یا آنتن های بلند مانند شکل (8-12) موجود باشد. امواج کوتاه در حدود چند سانتی متر طول داشته که برای مخابرات اتمار استعمال میگردد در لایه اتوار دستگاه فرستنده و اخذ میگردید

(microwave) به شکل آنتنایتود مقابوب) در تانگ امواج برای نشان دادن رنگها، انعکاس، تداخل و تفرق استعمال میگردد امواج کوتاه مانند تمام انواع امواج الکترومغناطیسی اگر توسط کدام جسم جذب میگردد حادثه حرارت را بوجود می آورد غذا امواج کوتاه را خیلی زیاد جذب میکند.

## تمرینات فصل هشتم

### سوالات تشریحی :

- ۱- آیا امواج صوتی و نوری در خاصیت و طبیعت خود یک چیز اند و یا خیر ؟
- ۲- امواج طولی کدام نوع امواج اند تعریف کنید.
- ۳- صوت چگونه تولید میشود تشریح کنید.
- ۴- فریکوئنسی های قابل شنود کدام است عدد معرفی دارید.
- ۵- اصوات آهنگ دار و بی آهنگ از هم چه فرق دارد تشریح کنید.

۶ - امواج الکترومغناطیسی کدام امواج اند تشریح کنید .

### سوالات تکمیلی :

- ۱ - امواج الکترومغناطیسی زمانی پخش میشود که :  
( تغییر واقع شود . )
- ۲ - سرعت صوت در جامدات و مایعات بیشتر از سرعت آن در :  
( مایعات )
- ۳ - وقتی که امواج از یک محیط داخل محیط دیگر میشوند سرعت انتشارشان ( نتیجه )  
شان ( می نماید . )

- ۴ - بلندی هر صوت به :  
( آن صوت تعلق میگیرد . )
- ۵ - سرعت صوت را در هوا میتوان از فرمول :  
( دریافت کرد . )
- ۶ - امواج به سرعت :  
( در سیر مستقیم در فضای آزاد حرکت میکند . )

### سوالات انتخابی :

- ۱ - وقتی که امواج از یک محیط داخل محیط دیگر میشوند رابطه بین طول موجها و سرعت شان  
طوری ذیل میباشد .

$$v_1 \lambda_2 = v_2 \lambda_1 \quad -c \quad v_1 \lambda_1 = v_2 \lambda_2 \quad -a$$

$$v_2 \lambda_2 = \frac{v_1}{\lambda_1} \quad -d \quad v_1 \lambda_1 = \frac{\lambda_2}{v_2} \quad -b$$

۲ - تفسیر ستون هوا در دو موقعیت اولی و دومی ریزد ناس مساوی است به :

$$\frac{\lambda}{5} = L_2 - L_1 \quad -c \quad \frac{\lambda}{4} = L_2 - L_1 \quad -a$$

$$\frac{\lambda}{2} = L_2 - L_1 \quad -d \quad \frac{\lambda}{3} = L_2 - L_1 \quad -b$$

۳ - افزایش شدت امواج یکی از روابط ذیل را صدق میکند .

$$I = mc^2 \quad -c \quad I \approx \frac{1}{r^2} \quad -a$$

$$I = h\nu \quad -d \quad I = \frac{1}{E^2} \quad -b$$

$$d = 0 + \frac{1440,0}{2} = 720\text{m}$$

مثال دوم: یک موتور با سرعت  $60\text{ km/hr}$  حرکت مینماید و وقتی که در یور بیک آن را فشار میدهند تعجیل آن به اندازه  $10\text{ m/sec}^2$  کم میشود فاصلای طی شده توسط موتور را پیدا کنید.

حل: سرعت ابتدائی

$$V_0 = 60\text{ km/hr} = \frac{60 \times 1000}{60 \times 60} \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

$$V_0 = 16,666\text{ m/sec}$$

چون  $a = -10\text{ m/sec}^2$  و  $V_t = 0$  است بنابراین داریم

$$v_t^2 - V_0^2 = 2ad$$

$$-V_0^2 = +2ad$$

$$-(16,6)^2 = 2(-10) \cdot d$$

$$-275,56 = -20d$$

$$d = \frac{275,56}{20}$$

$$d = 13,778\text{m}$$

مثال سوم: یک موتور بر روی یک جاده مستقیم با تعجیل  $2\text{ m/sec}^2$  در حرکت است. فاصله پیموده شده را در ثانیه پنجم پیدا کنید. اگر سرعت ابتدائی آن  $45\text{ km/hr}$  باشد

۴ - امواج الکترومغناطیسی رادیویی؛

- a - کوچکترین طول موج رادرفیاف امواج الکترومغناطیسی دارد .
- b - بزرگترین طول موج رادرفیاف امواج الکترومغناطیسی دارد .
- c - طول موج بین بزرگترین و کوچکترین طیف الکترومغناطیسی دارا میباشد .
- d - هیچ کدام درست نیست .
- ۵ - شدت امواج توسط یکی از واحد های ذیل اندازه میشود .

$$\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\frac{\text{nt}}{\text{m}^2}$$

- c

- d

$$\frac{\text{Joul}}{\text{m}^2}$$

$$\frac{\text{watt}}{\text{m}^2}$$

- a

- b

سوالات محاسبوی :

۱ - یک جسم محترز با فریکوئسی  $20 \text{ Hz}$  اهترز می نماید در صورتیکه سرعت انتشار موج  $0,5 \text{ m/Sec}$  باشد طول موج را پیدا کنید .

۲ - چرا با وجودیکه کتله مائیکول های گازیکی نیست ثابت عمومی گازات یکی عدد ثابت است ؟

۳ - صوتیکه در آب تولید میشود و طول موج آن در آب  $3 \text{ m}$  میباشد اگر سرعت انتشار صوت

در آب  $1200 \text{ m/Sec}$  در هوا  $340 \text{ m/Sec}$  باشد فریکوئسی و طول موج آن را در هوا پیدا کنید .

۴ - صدای رعد  $6 \text{ Sec}$  بعد از الماسک شنیده میشود اگر حرارت هوا  $27,5^\circ \text{C}$  باشد

الماسک در چه فاصله از ناظر قرار دارد .

۵ - به کمک شکل به اثبات رسانید که تغییر ارتفاع ستون هوا در ( ۲ ) موقعیت اولی و دومی ریز و نانس

$$\frac{\lambda}{2} = L_2 - L_1 \quad \text{یعنی ( ۲ ) مساوی به نصف طول موج است یعنی}$$



31

تعداد طبع (۳,۰۰۰) طبع دوم سال طبع ۱۳۷۱

مطبعه افضل شریف پرنٹرز لاہور

## REFERENCES

1. Tracy, George R., Harry E. Tropp, and Alfred E. Fried.  
Modern Physical Science New York: Holt Rinchart  
and Winston, Inc. 1970
2. Pople, Stephen. Explaining Physics. London: Oxford  
University Press, 1985
3. Physical Science Study Committee. Physics Second  
Edition. Lexington, Massachusetts: D.C. Heath  
and Company, 1970.
4. Husain, T.I., Dr. Tahir. et al. Fundamentals of Physics.  
Pakistan. Qaumi Kutub Khana-Lahore, 1969.
5. فزیک صنف دوازدهم چاپ افغانستان مولف داکتر ابوبکر
6. فزیک سال چارم آموزش متوسطه ای عمومی علوم تجربه بوی مولفان ابوالقاسم قلمسیا، و محمد علی یعقوبی

حل :

$$v_0 = \frac{45 \times 1000}{60 \times 60} \frac{m}{sec}$$

$$v_0 = 12,5 \frac{m}{sec}$$

برای دریافت فاصله در ثانیه پنجم لازم است اولاً تمام فاصله طی شده در پنج ثانیه را پیدا کنیم.  
اگر فاصله طی شده در مدت 5 ثانیه را به  $d$  نشان دهیم .

$$d = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$= 12,5 \times (5) + \frac{1}{2} 2 (5)^2$$

$$= 62,5 + 25$$

$$= 87,5 m$$

فاصله طی شده در 4 ، ثانیه

$$d_1 = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$= 12,5 \times 4 + \frac{1}{2} 2 \times 4^2$$

$$= 50,0 + 16$$

$$= 66 m$$

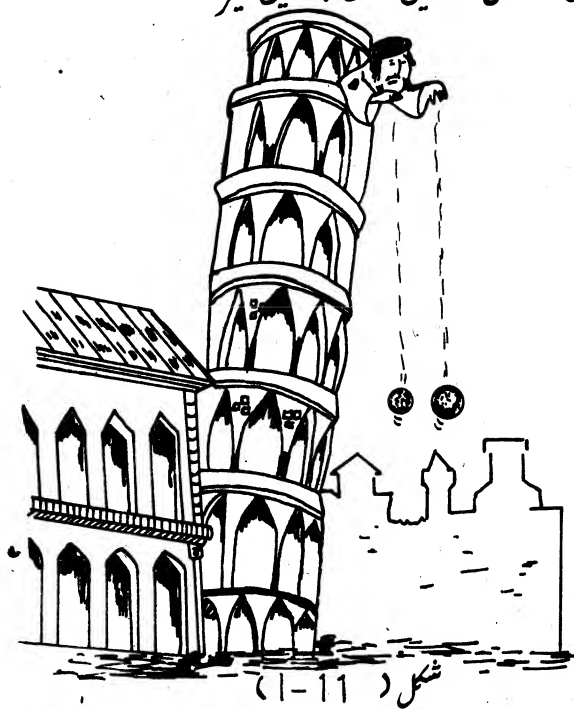
$$d - d_1 = 87,5 - 66$$

$$= 21,5 m$$

## 9 - سقوط آزاد

سقوط اجسام از زمانه های بسیار پیش ذهن انسان های متفکر را بخود مشغول ساخته است  
ارسطو فیلسوف یونانی معتقد بود که جسمی سنگین نظریه جسم سبک سریعتر سقوط میکند . این تضاد  
در مشاهدات عادی روزمره که یک برگ درخت کند تر نظریه یک سنگ سقوط میکند مطابقت

داشت این مفکوره تقریباً تا 2000 سال طول کشید تا نظریهٔ برخلاف ارسطو به میان آمد. ولی در سال 1590 میلادی گالیله نظریه ارسطو را در بارهٔ سقوط اجسام رد کرد و گفت اگر رسیدن اجسام مختلف به زمین از یک ارتفاع معینی در اوقات مختلف باشد علت آن اینست که مقاومت هوا در مقابل جسامت با مختلف جسام فرق میکند اگر اثر مقاومت هوا از بین برود همه اجسام بزرگ و کوچک از عین ارتفاع در عین زمان به زمین میرسند.



گالیله برای اثبات نظر خود دو گلولهٔ به اوزان مختلف را از برج پیزا Pisa رها کرد چون اثر مقاومت هوا بر این اجسام کم بود بناءً هر دو یکجا به زمین رسیدند. شما نیزه با یک تجربه ساده می توانید این مطلب را تأیید کنید. طوری مثال اگر یک توت سنگ و یک ورق کاغذ را از یک ارتفاع معین سقوط می دهید دیده خواهید شد که توت سنگ نظر به پارچه کاغذ زودتر به زمین

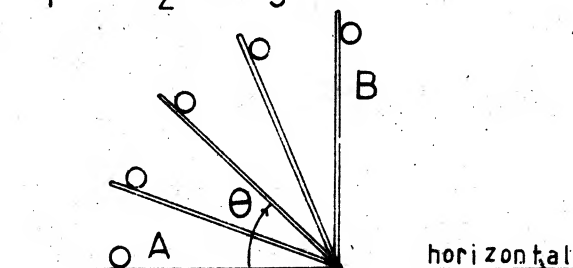
میرسد. حال اگر پارچه کاغذ مذکور را گلوله بسته و از یک ارتفاع کمتر با همان سنگ سقوط دهید هر دو تقریباً همزمان به زمین میرسند.

در زمان گالیله امکان اندازه گیری مستقیم حرکت سریع سقوطی میسر نبود از این جهت گالیله برای دانستن قانون سقوط آزاد از حرکت یک گلوله روی سطح مایل استفاده کرد. وی دلیل انتخاب سطح مایل را به این فرضیه توجیه کرد که:

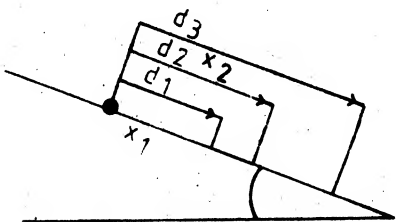
اگر جسمی در سقوط آزاد دارای شتاب ثابت باشد گلوله نیزه زمان حرکت بر روی سطح مایل

دارای شتاب ثابت میباشد ولی شتاب دومی سطح مائل کمتر از شتاب یک جسم در سقوط آزاد

$$\frac{d_1}{t_1^2} = \frac{d_2}{t_2^2} = \frac{d_3}{t_3^2} = \text{Constant}$$



(1-12)



شکل 13-1

بنابر آن اگر برای جسمی که سقوط

آزاد میکند  $\frac{d}{t^2}$  مقدار ثابت

باشد. این نسبت برای گلوله که روی

سطح مائل حرکت میکند و فواصل

مختلف را در اوقات متفاوت طی

مینماید نیز مقدار ثابت میباشد

$$\frac{d}{t^2} = \text{Constant}$$

## 10-1. حرکت تحت تأثیر جاذبه :

از تجارب روزانه میدانیم که هر محرمک تحت تأثیر یک قوه حرکت میکند و قتیکه موتور چالان میشود

ماشین بالای موتور قوه دارد میکند. و قتیکه خواسته باشیم با سیکل را به حرکت بیاوریم باید قوه بالای

پایان با سیکل عمل کند. اگر یک قوه در جهت حرکت یک موتور بالای موتور عمل کند سرعت آن را کم کند

لحظه تغییر میدهد یعنی حرکت آن تعلیلی است. جهت این تعلیل همیشه هم جهت قوه عامل است.

حال فرض میکنیم یک شخص یک سنگ را در دست خود گرفته و از یک ارتفاع رها می کند این

سنگ به طرف پایین شروع به حرکت می نماید چون حرکت بدون عمل قوه ممکن نبوده بنا به حرکت

سنگ به طرف زمین هم تحت تأثیر کدام قوه میباشد. این قوه را قوه جاذبه زمین یا قوه ثقل

# فصل اول

## حرکت مستقیم الخط

### 1-1 حرکت و سکون :

حرکت یک جسم تغییر موقعیت آن نظر به اجسام ماحول آن میباشد بطور مثال وقتی که یک موتور از توقف خود شروع به حرکت میخاید میتوان حرکت آن را تعقیب کرد. زیرا موقعیت آن نظریه ایستگاه آن تغییر میخورد. و اگر یک ریل از یک شخص که در پهلوی خط ریل ایستاده است میگذرد حرکت آن توسط آن شخص مطالعه میگردد. زیرا موقعیت ریل نظریه سستیشن (Platform) تغییر میخورد. بناءً یک جسم را زمان میتوان در حال حرکت گفت اگر موقعیت آن نظر به اشیای ماحول آن تغییر بخورد. همچنان اگر کدام جسم نظر به اشیای ماحول خود تغییر موقعیت نکند گویند این جسم در حال سکون است.

حالت سکون و حرکت نسبی است زیرا یک شخص که توسط موتور سفر میکند نظر به اجسام بیرون موتور در حال حرکت ولی نظر به همسفران خود در حال سکون میباشد قبل از آنکه راجع به سرعت و تعجیل تبصره کنیم و یا انواع حرکت را مطالعه کنیم. چون مطالعه این فزیک بر پایه میخانیک استوار است بناءً لازم است طوری مختصر میخانیک را معرفی نمائیم.

میخانیک یک قسمت از علم فزیک است که از چگونگی حرکت و سکون اجسام و علل و شرایط آنها بحث میکند. میخانیک بدو بخش (سینماتیک و دینامیک) تقسیم شده است

می نامند . چون تمام قوه ای عامل بالای یک جسم تعجیل را باعث میشود پس قوه جاذبه زمین یا قوه  
ثقل نیز باعث تعجیل میگردد که بنام تعجیل جاذبوی یاد میگردد . این تعجیل معمولاً به حرف ( g )  
ارایه میگردد . جهت این تعجیل به طرف پایین یعنی عمود به مرکز زمین میباشد مقدار  $g$   
 $9.81 \text{ m/sec}^2$  یا  $32 \text{ ft/sec}^2$  میباشد این مقدار در محل ای مختلف نظر به ارتفاع تغییر  
میخورد .



وقتی که حرکت جسم را تحت جاذبه زمین مطالعه میکنیم  
نقطه که از آنجا جسم رها میشود یا عموداً به طرف بالا  
پرتاب میشود بنام مبدأ حرکت یاد میشود . این نقطه در شکل  
ذیل به حرف ( O ) نشان داده شده .  
از نقطه ( O ) یک عمود  $t \text{ و } t'$  دارم کنید

حرکت جاذبوی فقط روی همین خط صورت میگیرد . (1-14)

فاصله متحرک در هر لحظه ( t ) از نقطه ( O ) اندازه میگردد و مقدار آن توسط حرف ( z ) اندازه میشود .  
جهت تعجیل و سرعت نهائی به علامت مثبت نشان داده میشود اگر این وکتورها در جهت مخالف  
سرعت اولیه عمل کنند به علامه منفی نشان داده میشوند ( اگر جهت این وکتورها مخالف جهت سرعت اولیه باشد )  
مثلاً اگر یک جسم از حالت سکون شروع به حرکت می کند چون حرکت آن تحت جاذبه زمین صورت  
میگیرد بناءً سرعت آن هم جهت سرعت اولیه است .

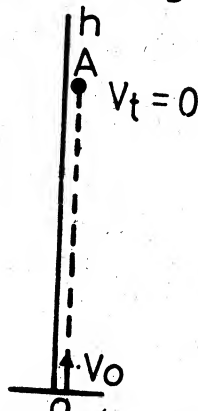
ولی اگر همان جسم از یک نقطه بطرف بالا پرتاب میشود در آن صورت چون جهت تعجیل مخالف  
جهت سرعت اولیه است بناءً تعجیل جاذبه زمین منفی میباشد زیرا جهت پرتاب عموداً به طرف  
بالا و عمل قوه جاذبه زمین بر خلاف سرعت اولیه عموداً به طرف زمین میباشد . چون حرکت تحت  
تأثیر قوه جاذبه زمین یک حرکت مستقیم الخط تعجیلی یا تعجیل ( g ) است پس معادلات حرکت یک

جسمی را که عموداً به طرف بالا پرتاب شده با تکرار معادلات 4 و 6 و 7 در حالیکه  
 $a$  را به  $g$  و  $d$  را به  $h$  عوض نمائیم طوری ذیل مینویسیم.

$$v_t = v_o - gt \quad \dots \dots \dots 8$$

$$h = v_o t - \frac{1}{2} gt^2 \quad \dots \dots \dots 9$$

$$v_o^2 - v_t^2 = 2gh \quad \dots \dots \dots 10$$



(1 - 15)

معادله 8 نشان میدهد که سرعت جسم وقتی که آن جسم به طرف بالا میرود، با گذشت زمان کاهش می یابد زمانی که سرعت نهائی آن صفر شود جسم بیشتر از آن به طرف بالا رفته نمیتواند و مسیر خود را تغییر داده به نقطه بازگشت مینماید که از آن نقطه به طرف بالا پرتاب شده و بالاخره به زمین میرسد اگر  $t = t_{upward}$  باشد در آن صورت از معادله (8) میتوان آزمایید کرد چون  $v_t = 0$  است بنابراین

$$0 = v_o - gt_{up}$$

$$v_o = gt_{up}$$

$$t_{up} = \frac{v_o}{g}$$

$t_{up}$  زمانی را میدهد که جسم درین زمان به بالاترین نقطه (A) حرکت خود میرسد.

اگر آخرین ارتفاع از نقطه (O) برای تحرک ضرورت باشد در رابطه 10 مقدار  $v_t^2 = 0$  قرار میدهم.

$$v_t^2 - v_o^2 = -2gh$$

$$v_t^2 = 0$$

$$v_o^2 = 2gh \quad h = \frac{v_o^2}{2g}$$

بعد از آنکه جسم به آخرین ارتفاع خود برسد جسم مذکور بطرف زمین بازگشت نموده و به نقطه می‌رسد که از آن نقطه بطرف بالا پرتاب شده بود اگر  $T$  زمان کلی جسم از نقطه  $O$  تا  $A$  و از  $A$  تا نقطه  $(O)$  باشد تغییر مکان  $R$  برای این متحرک بعد از زمان  $T$  مساوی صفر است زیرا جسم مذکور به نقطه  $O$  بازگشت نموده بناءً قیمت  $T$  از رابط  $(9)$  با در نظر داشت  $h = 0$  دریافت می‌گردد.

$$h = V_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$h = 0, t = T$$

$$0 = V_0 T - \frac{1}{2} g T^2$$

$$T (V_0 - \frac{1}{2} g T) = 0$$

$$T = 0$$

$$V_0 - \frac{1}{2} g T = 0$$

$$V_0 = \frac{1}{2} g T$$

$$T = \frac{2 V_0}{g}$$

$T = 0$  زمان شروع پرتاب  $T = \frac{2 V_0}{g}$  تمام زمان رفت و آمد متحرک به نقطه

$(O)$  میباشد بناءً زمان مجموعی حرکت  $T = \frac{2 V_0}{g}$  است طوریکه قبلاً زمان مربوط به

حرکت جسم بطرف بالا را  $t = \frac{V_0}{g}$  دریافت نموده بودیم بناءً زمان حرکت از بالا به طرف

پایان عبارت از  $\frac{2 V_0}{g} - \frac{V_0}{g}$  مساوی  $\frac{V_0}{g}$  میباشد

پس زمان رفت بطرف بالا مساوی به زمان آمد بطرف پایان است.

تا حال ما حرکت یک جسم باله طرف بالا مورد بررسی قرار دادیم اکنون حرکت جسم را به طرف

پایین مطالعه می‌نماییم. طوری مثال اگر یک سنگ از سقف یک اتاق سقوط کند چون جهت حرکت بطرف پایین است و  $(g)$  نیز بطرف پایین عمل میکند بنابراین  $g$  مثبت می‌باشد. همچنان فاصله  $h$  نیز علامه مثبت دارد. و حرکت جسم سقوط کننده در هر لحظه  $t$  با قرار دادن  $v_0 = 0$  ،  $d = h$  و  $a = +g$  در روابط 4 ، 6 و 7 محاسبه کرده می‌توانیم. بنابراین معادلات که حرکت سقوطی یک جسم سقوط کننده را تشریح میکند قرار ذیل می‌باشد

$$t = gt \dots\dots\dots 11$$

$$h = \frac{1}{2} g t^2 \dots\dots\dots 12$$

$$g = \frac{2h}{t^2}$$

$$v_t^2 = 2gh$$

$$v_t = \sqrt{2gh} \dots\dots\dots 13$$

مثال: یک توپ با سرعت  $50 \text{ m/sec}$  بطوری عمود به طرف بالا پرتاب شده

- a- چقدر زمان لازم است تا توپ مذکور به نقطه اوج برسد.
- b- این توپ به چه ارتفاع بلند رفته می‌تواند.
- c- توپ مذکور چقدر زمان را در هوا سپری نموده است.
- d- با کدام سرعت جسم مذکور به طرف زمین می‌آید.

### حل جز 2:

در بلندترین ارتفاع سرعت نهائی توپ  $v_t = 0$  است اگر  $t_h$  زمان رسیدن توپ به بلندترین نقطه باشد در آن صورت چون توپ به طرف بالا پرتاب شده پس زمان

رسیدن به نقطه اوج توسط رابطه  $V_t = V_0 - gt$  تعیین میگرد...

$$V_t = 0$$

$$V_0 - gt = 0$$

$$V_0 = gt$$

$$t = \frac{V_0}{g}$$

از آنجا که  $V_0 = 50 \text{ m/sec}$  و  $g = 9,8 \text{ m/Sec}^2$  میباشد بنابراین

$$t = \frac{50 \text{ sec}}{9,8 (\text{m/sec}^2)}$$

$$t = \frac{500}{98} = 5,1 \text{ sec}$$

حل جز b : اگر ارتفاع را به  $h$  نشان دهیم در آن صورت داریم

$$V_0 = 50 \text{ m/sec}$$

$$g = 9,8 \text{ m/sec}^2$$

$$V_t = 0$$

$$V_t^2 - V_0^2 = -2gh$$

$$-V_0^2 = -2gh$$

$$(50)^2 = 2(9,8)h$$

$$h = \frac{2500}{19,6} \text{ m}$$

حل جز c : اگر زمان رفت و برگشت توپ  $T$  ثانیه و فاصله مربوط به آن به  $Z$  نشان داده شود

$$Z = V_0 t - \frac{1}{2} gt^2$$

از رابطه ذیل کار میگیریم :

$$Z = 0$$

چون

$$t (V_0 - \frac{1}{2} gt) = 0$$

$$t = 0$$

$$2V_o - gt = 0$$

$$2V_o = gt$$

$$t = \frac{2V_o}{g}$$

$$t = \frac{2 \times 50}{9,8} = \frac{100}{9,8} \text{ Sec}$$

حل جز d: اگر سرعت توپ حین رسیدن به زمین (و قتیکه  $Z=0$  باشد) به  $V$  نشان داده شود در آن صورت داریم:

$$V_o = 50 \text{ m/sec} \quad \text{سرعت ابتدائی}$$

$$g = 9,8 \text{ m/sec}^2$$

$$Z = 0$$

$$V_t = V$$

برای دریافت ( $V$ ) از معادله ذیل کار میگیریم

$$V^2 - V_o^2 = -2gz$$

$$V^2 - (50)^2 = -2 \times 9,8 z$$

$$V^2 - 2500 = -19,6 z$$

$$V^2 - 2500 = -19,6 \times 0$$

$$V^2 = 2500 \Rightarrow \boxed{V = \pm 50 \text{ m/sec}}$$

مثال دوم: یک سنگ از یک برج سقوط میکند اگر زمان رسیدن آن به زمین 5 sec باشد ارتفاع برج را پیدا کنید.

$$V_o = 0 \quad \text{سرعت ابتدائی}$$

$$t = 5 \text{ sec} \quad \text{زمان}$$

$$g = 9,8 \text{ m/sec}^2 \quad \text{تعمیل جاذبه زمین}$$

$$Z = h \quad \text{فاصله}$$

$$Z = \frac{1}{2} gt^2 \quad \text{حل :-}$$

$$Z = \frac{1}{2} \times 9,8 \times (5)^2$$

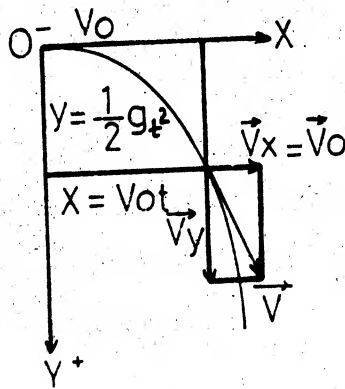
$$Z = 4,9 \times 25$$

$$Z = 122,5 \text{ m}$$

# حرکت های پرتابی :

## 1-12 پرتاب افقی :

هرگاه جسمی را بصورت افقی پرتاب کنیم این جسم بصورت افقی به حرکت خود ادامه داده نه میتواند بلکه بعد از یک زمانی به زمین میرسد علت افتادن جسم روی زمین جاذبه زمین میباشد در شکل دیده می شود که مسیر حرکت این جسم از ترکیب دو حرکت تشکیل میشود که یک جز این حرکت عبارت از حرکت منظم با سرعت  $V_0$  بصورت افقی و جز دیگر آن سقوط آزادی باشد که معادلات این هر دو حرکت طور ذیل میباشد .



$$X = V_0 t \quad \dots \quad 1$$

$$Y = \frac{1}{2} g t^2 \quad \dots \quad 2$$

برای دریافت شکل بندی هر دو حرکت لازم است قیمت  $t$  را از هر دو معادله افقاً

کنیم در آن صورت

$$Y = \frac{1}{2} g \frac{X^2}{V_0^2} \quad \dots \quad 3$$

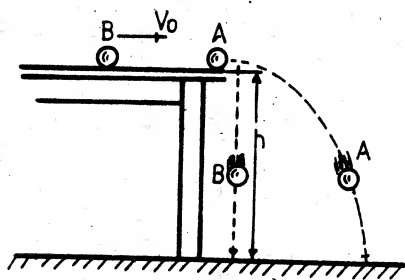
چون  $g$  و  $V_0$  ثابت اند بنا بر آن معادله (3)، شکل ذیل را می گیرد :

$$Y = c X^2 \quad \dots \quad 4$$

معادله (4)، از نگاه ریاضی یک پارابول را ارایه می کند. پس در پرتاب افقی مسیر یک جسم پارابول است. هم چنان معادله اخیر واضح می سازد که زمان رسیدن یک جسم به زمین که بصورت افقی پرتاب میشود مساوی به زمان است که آن جسم از همان نقطه به شکل آزاد سقوط می کند. این حقیقت را به شکل تجربی دریافت کرده میتوانیم .

## تجربه ۱

دو گلوله A و B را مطابق شکل (۱-۱۷)، در نظر میگیریم گلوله A را در کنار میز که به ارتفاع  $h$  از زمین قرار دارد گذاشته و گلوله B را از یک فاصله به طرف گلوله A طوری به حرکت می آوریم که گلوله A بعد از ضربه به سرعت

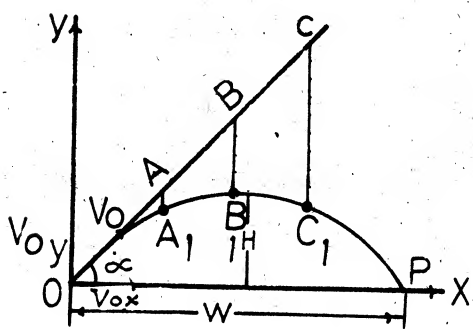


$v_0$  پرتاب افقی نماید و گلوله B از کنار میز سقوط کند. دیده خواهد شد که هر دو گلوله همزمان به زمین اصابت می نمایند. یعنی هر دو گلوله فاصله  $h = \frac{1}{2} g t^2$  را همزمان پیموده است

شکل (۱-۱۷)

## ۱-۱۳ پرتاب مایل :

جسمی را در نظری می گیریم که با سرعت  $v_0$  به زاویه  $\infty$  با سطح زمین پرتاب شده باشد. هرگاه تعجیل جاذبه  $g$  وجود نداشت جسم پرتاب شده با سرعت  $v_0$  در مسیری که به افق زاویه  $\infty$  را میسازد به استقامت پرتاب به حرکت خود ادامه می داد. اما تعجیل جاذبه همیشه آنرا به



شکل (۱-۱۸)

طرف پائین می کشاند. اگر به شکل (۱-۱۸)، نظر اندازیم در عدم موجودیت تعجیل جاذبه زمین جسم با سرعت اولیه  $v_0$  به استقامت  $OC$  به حرکت خود ادامه خواهد داد. ولی این حرکت هم ترکیبی است پس در زمان کیفی  $t$  حرکت به جهت محوری افقی و عمودی را مطالعه میکنیم.

$$X = v_{0x} \cdot t = v_0 \cos \alpha t \dots \dots 1$$

$$y = v_{0y} \cdot t = v_0 \sin \alpha \cdot t \dots 2$$

چون قوه جاذبه زمین وجود دارد این قوه نمیکند از جسم حرکت خطی مانند معادله اخیر به استقامت محور  $y$  داشته باشد بلکه جسم به اندازه  $h = \frac{1}{2} g t^2$  به طرف پایین سقوط میکند پس باید این مقدار برای  $y$  از طرف راست معادله اخیر تفسیر می گردد .

$$y = v_0 \sin \alpha t - \frac{1}{2} g t^2 \dots 3$$

چون  $g$  مرکب افقی ندارد بناً

$$x = v_0 \cos \alpha \cdot t \dots 4$$

مرکبات سرعت به امتداد  $x$  و  $y$  را طوری ذیل از معادلات اخیر بدست می آوریم .

$$v_x = \frac{dx}{dt} = v_0 \cos \alpha \dots 5$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = v_0 \sin \alpha - g t \dots 6$$

اگر قیمت  $t$  را از معادلات 3 و 4 انباشتیم در آن صورت داریم :

$$y = \tan \alpha \cdot x - \frac{g}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 \dots 7$$

معادله 7 معنی پاره‌بول را رایج می‌کند . یعنی پرتاب مایل هم مسیر حرکت یک پاره‌بول است پس پرتاب افقی یک حالت خاص پرتاب مایل می‌باشد .

اکنون نقطه اوج یا بلندترین نقطه را که جسم به آن میرسد محاسبه می‌نماییم . هرگاه این ارتفاع را  $h$  و وقت مربوط به آن را  $t_H$  بگوئیم . در نقطه اوج سرعت مرکب عمود

$v_y = 0$  میگردد بناً از معادله (6) داریم

$$v_y = v_0 \sin \alpha - g t = 0$$

$$t_H = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

با گذاشتن این قیمت  $t_H$  در معادله 3 داریم

$$Y = H = V_0 \sin \infty \cdot \frac{V_0 \sin \infty}{g} - \frac{1}{2} g \left( \frac{V_0 \sin \infty}{g} \right)^2$$

$$H = \frac{V_0^2 \sin^2 \infty}{2g} \dots \dots \dots 8$$

بر علاوه نقطه اوج، به دریافت دورترین فاصله روی محور X ضرورت بیشتر حاصل میشود

بنابراین نقطه را که نقطه تسیر رس نیز میگویند بطور ذیل دریافت می نمائیم.

چون در نقطه تسیر رس  $Y = 0$  میگرد پس از معادله (7) داریم.

$$y = \tan \infty \cdot x - \frac{g}{2 V_0^2 \cos^2 \infty} x^2 = 0$$

$$x \left( \tan \infty - \frac{g}{2 V_0^2 \cos^2 \infty} x \right) = 0$$

$$x_1 = 0$$

$$\tan \infty = \frac{g}{2 V_0^2 \cos^2 \infty} x$$

$$x = \frac{\tan \infty 2 V_0^2 \cos^2 \infty}{g}$$

$$x = \frac{2 V_0^2 \sin \infty \cos \infty}{g}$$

$$x = \frac{V_0^2 \sin 2 \infty}{g} \dots \dots \dots 9$$

سوالات ذیل را بررسی می نمائیم:

- ۱- بلندترین ارتفاع را که یک شی پرتاب شده به سرعت اولیه  $V_0$  به آن میرسد تحت کدام زاویه صورت می گیرد.

چون در بلندترین ارتفاع سرعت صفر است و از رابطه 8 دید می شود که H تنها تابع  $\infty$

است پس داریم:

۱- سینماتیک (Cinematique)؛ درباره حرکت اجسام بدون در نظر داشت علت آن بحث مینماید.

۲- دینامیک (Dynamics)؛ از حرکت و سکون اجسام و علت آن بحث می‌کند. دینامیک بدو قسمت استاتیک (Statics) (که از تعادل اجسام در حال سکون بحث میکند) سینتیک Cinetique (که از تغییر حرکت تحت تأثیر قوه بحث می‌کند) تقسیم شده شما در صنوف پایان راجع به حرکت و سرعت چیزی معلومات پیدا کرده اید. در اینجا به بحث تحلیلی و ریاضیکی پیشرفته تری، این موضوعات را مورد مطالعه قرار میدهم. اکنون حالات مختلف یک محرک را مطالعه می‌کنیم.

## 2-1 سرعت و تیزی؛

یک طیاره نسبت به یک موتور تیزتر حرکت میکند زیرا فاصله طی شده توسط طیاره در یک ساعت خیلی زیاد نسبت به فاصله طی شده توسط یک موتور در همان زمان است. تیزی و هم تیزی یک جسم محرک میتواند از فاصله طی شده فی واحد وقت آن قضاوت شود.

فاصله طی شده یک جسم در واحد وقت را تیزی همان جسم مینامند. با در نظر داشت این تعریف تیزی و سستی اجسام مختلف را مقایسه کرده میتوانیم. طوری مثال اگر یک بایسکل سوار  $10 \text{ km/hr}$  و یک موتور سوار  $35 \text{ km/hr}$  رفتار داشته باشد گفته میتوانیم که موتور نسبت به بایسکل تیزتر حرکت میکند. تیزی یک جسم محرک ما را در مورد حرکت هیچ دهقانی کرده نمیتواند تا اینکه جهت حرکت تذکر نیابد. طوری مثال اگر بگوئیم تیز رفتاری با تیزی  $30 \text{ km/hr}$  در سمت روی یک جاده مستقیم به طرف شمال در حرکت است در این صورت ما درباره تیزی و جهت حرکت هر دو معلومات پیدا کرده ایم.

$$H = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

$$V_H = \frac{dH}{d\alpha} = \frac{2V_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{2g} = \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{2g} = 0$$

$$\sin 2\alpha = 0$$

$$\alpha = 90^\circ$$

یعنی حرکتی تحت زاویه  $90^\circ$  پرتاب شود جسم به بلندترین نقطه ارتفاع خویش میرسد.  
چون در پرتاب عمودی  $x=0$  و  $y = V_0 t - \frac{1}{2} g t^2$  است و سرعت عمودی پرتاب

$$V_x = 0$$

$$V_y = V_0 - g t$$

$$V_y = 0$$

$$V_0 = g t$$

$$t_H = \frac{V_0}{g}$$

زمان ارتفاع اعظمی

با گذاشتن  $\alpha = 90^\circ$  در رابطه 8 اعظمی ترین ارتفاع از رابطه ذیل دریافت میگردد.

$$H = \frac{V_0^2}{2g}$$

$$V_0^2 = 2gH$$

۲- تحت کدام زاویه یک شی پرتاب شود تا اعظمی ترین فاصله را طی نماید.  $x = \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{g}$

$$V = \frac{dx}{d\alpha} = \frac{2V_0^2 \cos 2\alpha}{g} = 0$$

$$\cos 2\alpha = 0$$

$$2\alpha = 90^\circ$$

$$\alpha = \frac{90}{2}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

پس اگر جسم تحت زاویه  $45^\circ = \alpha$  پرتاب شود غلظی ترین فاصله را طی میکند.

## تمرینات فصل اول

- ۱- فرق بین سرعت متوسط و سرعت لحظی چه است و در کدام حالت هر دو سرعت با هم مساوی اند؟
- ۲- آیا ممکن است که یک جسم متحرک تعجیل داشته باشد اگر سرعت و تیزی آن جسم ثابت باشد؟
- ۳- مثال های حرکت ای یکنواخت و غیر یکنواخت را برای متحرک بدهید.
- ۴- آیا تیزی متوسط مساوی  $\frac{V_0 + V_t}{2}$  است و متیکه تعجیل متحرک یکنواخت نباشد.
- ۵- آیا تمام اجسام سقوط کننده به ارتباط زمین دارای عین تعجیل میباش یا خیر تشریح کنید.
- ۶- یک ریل با سرعت 50 mil فی ساعت در حرکت است سرعت آن را به فوت فی دقیقه و فوت فی ثانیه و متری فی ثانیه حساب کنید؟  
(1 mile = 5280 ft)
- ۷- یک جسم با تعجیل ثابت  $2.5 \frac{ft}{sec^2}$  حرکت مینماید حرکت آن را به:  
 $5280 \frac{ft}{min}$  ،  $88 \frac{ft}{Sec}$  ،  $26.8 \frac{m}{Sec}$  ،  $\frac{m}{Sec^2}$  ،  $\frac{km}{min^2}$  ،  $\frac{m}{hr^2}$  پیدا کنید.
- ۸- یک متحرک از حالت سکون در یک مستوی افقی شروع به حرکت مینماید در زمان های مختلف فواصل مختلف ذیل را طی میکند.

0.5 . 2 . 3 . 4 . 5 . 7 (به فوت) d فواصل

1 , 2 , 3 , 4 , 5 t (Sec)

گراف فاصله نظریه زمان را پیدا کنید.

۹- يك موتور به سمت شمال روی يك جاده مستقيم با سرعت‌های مختلف ذيل در حرکت است

$$V (m/sec) = 30, 35, 40, 45, 50$$

$$t (sec) = 0, 1, 2, 3, 4$$

گراف سرعت و زمان آنرا رسم کنید .

۱۰- يك موتور از حالت سکون شروع به حرکت تعجيلي مي‌نماید سرعت آن بعد از مدت ده ثانيه به  $54 km/hr$  ميرسد. تعجيل موتور و مسافت طی شده بعد از  $10 sec$  موتور را پيدا کنید.

$$\text{جواب: } (d = 75m, a = 1,5 m/sec^2)$$

۱۱- يك موتور با سرعت  $72 km/hr$  در حرکت بوده در يور بالای برك آن فشار وارد مي‌نماید موتور مذکور بعد از مدت  $6 sec$  توقف مي‌نماید. تأجيل آن را در مدت قبل از توقف پيدا کنید؟ و هم چقدر فاصله را در مدت مذکور طی نموده است.

$$\text{جواب: } (a = 3,33 m/sec^2, d = 60 m)$$

۱۲- يك موتور با سرعت  $107 km/hr$  در حرکت است يك آن موتور مذکور را بعد از فاصله  $30m$  توقف مي‌دهد چقدر وقت برای توقف آن ضرورت است؟

$$\text{جواب: } (t = 2 Sec)$$

۱۳- يك گلوله با سرعت  $120 m/sec$  بالای يك خريطه ريگ فير ميشود و فاصله  $0,9m$  را داخل خريطه قبل از توقف طی مي‌نماید. تأجيل و زمان قبل از سکون گلوله را پيدا کنید.

$$\text{جواب: } (a = -8000 m/sec^2, t = 0,015 sec)$$

۱۴- حين تعيين انرژی الكترون در يافتند كه الكترون 9 ميكرو ثانيه زمان را برای طی کردن فاصله  $1,8m$  ضرورت دارد سرعت متوسط الكترون را پيدا کنید و هم بگوئيد كه اين سرعت کدام كسر از سرعت نور مي‌باشد.

جواب (  $\bar{V}_{av} = 2 \times 10^5 \text{ m/sec} \times \frac{2}{3} \times 10^{-3}$  )

۱۵- يك سنگ عموداً به طرف بالا پرتاب شده و زمان ده ثانیه را برای بازگشت خود به زمین ضرورت دارد به چه ارتفاع این سنگ میرود .

جواب ( 122,5 m )

۱۶- يك توپ با سرعت اولی  $102,9 \text{ m/sec}$  عموداً به طرف بالا پرتاب میشود توپ مذکور بعد از چه وقت به ارتفاع  $98 \text{ m}$  بالاتر از نقطه پرتاب میرسد .

جواب ( 22 Sec )

۱۷- يك سنگ از يك برج سقوط میکند در ثانیه پنجم فاصل  $44,1 \text{ m}$  طی میاید ارتفاع برج را پیدا کنید .

۱۸- يك گلوله به صورت عمودی با سرعت  $98 \text{ m/sec}$  به طرف بالا از يك طیاره که به ارتفاع  $1470 \text{ m}$  در هوا قرار دارد فیر شده زمان سقوط آن را به زمین پیدا کنید .

۱۹- اگر يك توپ را به سرعت ابتدائی  $40 \text{ m/sec}$  تحت زاویه  $45^\circ$  از يك جغری که از طرف خود  $20 \text{ m}$  پایانتر واقع است شوت گردد توپ مذکور چقدر فاصل پیش خواهد رفت .

۲۰- يك طیاره در سیریک با افق زاویه  $30^\circ$  را میسازد با سرعت  $150 \text{ m/sec}$  در حرکت هست . بی را از ارتفاع  $1000$  متر به زمین ره می کند اولاً زمانی که بم بعد از ره شدن الی رسیدن به زمین بکار دارد حساب نمائید . ثانیاً فاصل افقی را که بم بعد از ره

شدن طی میکند دریافت کنید .

# فصل دوم

## قوه و قوانین حرکت

### 1-2: چه چیز سبب حرکت میشود؟

میدانید که حرکت جز زندگی بوده بناءً شاهد روزه به حرکت با یک بالیک مرک، حرکت موتره، ریل، حرکت منظم ستاره و حرکت غیره اشیا که هر کدام یک نوع از حرکت را نشان میدهند آشنا میباشید ولی سوال در اینجاست که چه چیز سبب حرکت اشیا میگردد. آیا کدام علت مشترک برای حرکت تمام اشیا موجود است؟

برای جواب سوال اخیر مشاهدات و تجارب نیوتن را که راجع به حرکت مستقیم الخط نموده و در سه قانون خلاصه شده تشریح می نمائیم.

### 2-2: قانون اول نیوتن راجع به حرکت:

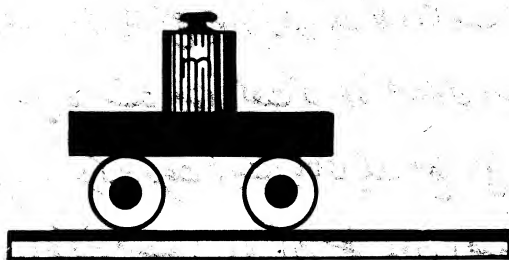
در روشنی تجارب روزمره خود میتوان گفت که سبب حرکت اجسام کش کردن و تیل زدن جسم توسط عضلات ماست. اما در یک اطاق برای به حرکت آوردن یک چوکی کش کردن کمتر نسبت به یک میز ضرورت است. همین کش کردن و تیل کردن را قوه مینامند.

همچنان کش کردن یک سنجاق توسط یک مقناطیس یک قوه میباشد زیرا این کش کردن مقناطیس سبب حرکت سنجاق میشود.

حال بیایید تجارب خود را راجع به سکون، حرکت و یا تغییر در حرکت یک جسم امتحان نمائیم.

اگر مایک کتاب را روی میز بگذاریم تا آنکه کدام عامل خارجی بالای آن عمل نکند کتاب بروی میز ساکن باقی خواهد ماند. لکن وقتی که کدام شخص آن را بجای میسازد باید کشش یا قوه عضلاتی را به مصرف برساند. بناءً همین قوه عامل خارجی میباشد که در موقعیت کتاب تغییر آورده بصورت عموم میتوان گفت که یک جسم حالت سکون خود را حفظ خواهد کرد تا آنکه کدام عامل خارجی بالای آن عمل نکند.

تجربه 1: یک موتورک کوچک را روی صفحه صیقلی (مثلاً کاغذ) بالای یک میز گذاشته برای اینکه



حالات سکون خوبتر مطاعن شود بالای

موتورک مذکور یک وزنه را مانند شکل (1-2)،

بگذارید هرگاه صفحه کاغذ را به سرعت به

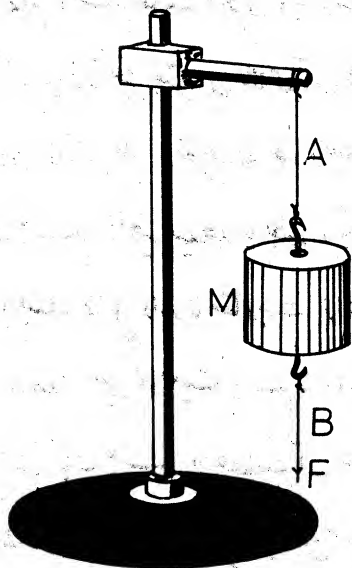
طرف چپ و یا راست کنش کنیم تا یرای آن

به نسبت کمی اصطکاک دور خورده ولی

موتورک مذکور از جای خود بجای نمیخورد.

شکل (1-2)

تجربه 2: یک وزنه را مطابق شکل (2-2) توسط یک تار A از یک پایه اویزان کنید



عین تار را در قسمت پائین وزنه نیز بسته

نموده. حال اگر تار B را با قوه F آهسته

آهسته کش کنیم وزن جسم همراهی قوه F جمع

شده و تار A، کنده میشود اگر تار به سرعت

کش شود تا شیه قوه F بالای تار B در یک

لحظه کوچک خیلی زیاد میباشد بناءً قبل از

آن که کشش قوه F به تار A برسد تار B را

قطع میکند این قسمت اول قانون اول نیوتن میباشد

شکل (2-2)

آیا یک حرکت مستقیم الخط با سرعت ثابت بدون عمل کدام قوه ممکن است موجود باشد؟  
یک اسپ با قوه ثابت میتواند یک کراچی را با سرعت ثابت کش کند. شجارب و زورمه نشان میدهد  
که یک قوه ثابت میتواند یک متحرک را به حرکت مستقیم الخط با سرعت ثابت بیاورد.

یک گلوله وقتی که روی یک سطح از بالا به طرف پایین حرکت میکند سرعت آن لحظه به لحظه  
بیشتری گردد اگر همان جسم از پایین به طرف بالا روی همان سطح حرکت نکند سرعت آن لحظه به  
لحظه کم می شود. بناءً حرکت روی یک سطح افقی میتواند با سرعت ثابت باشد. معلوم دارد  
حرکت روی یک سطح هموار برای یک گلوله ثابت تر نسبت به یک سطح نامنظم است.  
از مثال گذشته میتوان گفت که، قوه اصطکاک است که جسم را روی یک سطح افقی توقف  
میدهد. حرکت سرعت ثابت بالای یک سطح افقی صاف و هموار نتیجه میدهد که هیچ عاملی موجود  
نیست تا حرکت جسم را روی آن سطح بدون اصطکاک تعجیلی یا تأخیری بسازد. بناءً قانون  
اول نیوتن را چنین تشریح می نمائیم

تمام اجسام حالت سکون و یا حرکت مستقیم الخط یک نواخت خود را حفظ خواهند کرد  
تا آنکه کدام قوه غیر متوازن بالای آن عمل نکند.

این قانون ما را به تعریف قوه وصل میسازد. پس قوه عامل است که حالت سکون و یا حرکت  
یکنواخت جسم را تغییر میدهد یا بطور دیگر قوه سبب تعجیل در حرکت میباشد.

اجسام تمایل دارد تا مقاومت برای حفظ حالت خود (سکون و یا حرکت مستقیم الخط یکنواخت)  
نشان بدهد. این خاصیت جسم را بنام عطالت یا انرشیا جسم یاد می نمایند.

کنند یک جسم از عطالت آن بصورت مستقیم اندازه شده میتواند. قابل یاد آوری است  
که اگر یک موتور و یک ریل هر دو با همین سرعت در حرکت باشند. توقف دادن ریل نسبت  
به موتور مشکل تر است زیرا کند ریل نسبت به موتور بیشتر است.

### 2-3 قانون دوم نیوتن :

قانون اول نیوتن بیان می‌دارد که یک جسم متحرک به سرعت ثابت به حرکت یکنواخت مستقیم الخط خود ادامه خواهد داد تا اینکه کدام عامل بالا آن عمل نکند. هم‌چنان اگر سرعت یک جسم تغییر میکند میگویند که کدام قوه بالای آن جسم عمل کرده است. پس رابط بین قوه و تغییر سرعت موجود است. تغییر سرعت را میتوان تعجیل گفت.

بطور دیگر آیا میتوان رابط بین قوه و تعجیل را بیان نمائیم که رابط بین این دو کمیت

فیزیکی چه است؟ از تجربیات روزمره میدانیم وقتی که یک جسم را به شدت تیر می‌زنیم سرعت آن در جهت قوه تغییر میکند از این تجربه نتیجه می‌شود که تعجیل حاصل از یک قوه همیشه در جهت قوه میباشد. پس هرگاه جسمی تحت تاثیر قوه ثابت واقع شود این قوه به آن جسم تعجیل میدهد بطوریکه تعجیل مستقیماً متناسب است به قوه و معکوساً متناسب به کتله میباشد. یعنی

$$a \approx \frac{f}{m}$$

اگر برای سه کمیت قوه، کتله و تعجیل واحدهای مناسب انتخاب شوند تناسب فوق به معادله ذیل تبدیل میگردد.

$$a = \frac{f}{m}$$

$$f = a \cdot m \dots \dots \dots 1$$

$$F = \text{شتاب} \times \text{کتله} \quad \text{یا}$$

این رابطه یکی از روابط اساسی میخانیک است که جوابگوی بسیاری مسائل میباشد در سیستم واحدهای بین المللی اگر قوه را به نیوتن، کتله را به kg و تعجیل را به  $m/sec^2$  نشان دهیم در آن صورت،

$$F = m_{kg} \cdot a (m/sec^2)$$

یعنی یک نیوتن قوه عبارت از قوه است که بالای یک کتله یک کیلوگرم عمل کند به آن  $1 \text{ m/sec}^2$  تعجیل بدید از رابطه (۱) دیده می شود که قوه و تعجیل کمیت های وکتوری بوده و کتله یک کمیت سکالری میباشد.

مثال: چه مقدار قوه لازم است تا کتله یک گرم را تعجیل  $2 \text{ cm/sec}^2$  بدهد؟  
سوال: چه مقدار قوه لازم است تا کتله  $50 \text{ kg}$  را روی یک سطح افقی تعجیل  $30 \text{ m/sec}^2$  بدهد.

حل: -  $F = m \cdot a = 50 \text{ kg} \times 30 \text{ m/sec}^2 = 1500 \text{ nt}$

#### 2-4 قانون سوم نیوتن:

وقتی که یک توپ بازی تنیس را به زمین صاف و هموار سقوط بدید توپ مذکور یک قوه را به طرف پایین بالای زمین وارد می کند ولی زمین نیز قوه عکس العمل را بالای توپ به طرف بالا وارد می کند. خیز زدن توپ ناشی از این قوه را عکس العمل می نامند. بناءً اگر جسم  $A$ ،  $B$  داشته طوریکه جسم  $A$  بالای جسم  $B$  یک قوه وارد کند چنین قوه را عمل و همزمان قوه که از طرف جسم  $B$  بر جسم  $A$  واردی شود بنام عکس العمل یاد می گردد. پس قانون سوم حرکت را چنین تعریف می نمایم.

برای هر عمل عکس العمل مساوی و مختلف البجهت موجود است یا عمل های دو جسم بر یکدیگر همیشه مساوی و مختلف البجهت میباشد.

#### 2-5 وزن و کتله:

وقتی که یک جسم با کتله  $m$  در مجاورت سطح زمین به طوری آزاد سقوط کند قوه موثر بر آن قوه جاذبه زمین میباشد استقامت این قوه غمود و جهت آن رو به پایین میباشد همین قوه را وزن جسم می نامند تعجیل افتادن یک جسم که آن را به  $g$  نشان داده ایم نیز تحت تاثیر

پایه قوه به طرف زمین می باشد . بنا بر آن اگر در قانون دوم نیوتن  $a = g$  وضع شود

2-  $w = mg$  عبارت از وزن جسمی است که کتله آن به اندازه  $m$  می باشد .

وزن همان کمیت فیزیکی است که مستقیماً توسط ترازوی فنری اندازه می شود

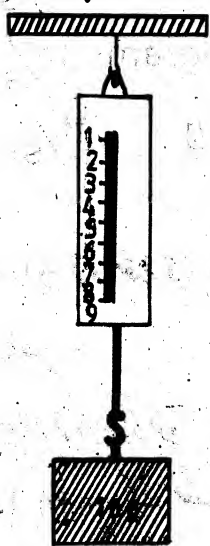
طوری مثال اگر کتله معیاری یک کیلوگرام را توسط ترازوی فنری در کابل و بعداً در سالنگ وزن نمائیم غرض ترازو دو مقدار مختلف را نشان می دهد یعنی : وزن جسم در کابل که به سطح بحر نزدیکتر است بیشتر نظیر به وزن آن در کوه سالنگ می باشد . پس اگر عوض ترازوی فنری اثر ترازوی پهلوی استفاده نمائیم این نقصان رفع خواهد شد . یعنی اگر یک سنگ ، کیلوگرام معیاری را در کابل در حال تعادل بیاورد همین سنگ تعادل را در کوه سالنگ هم نگاه خواهد کرد . زیرا قوه جاذبه زمین بالای کیلوگرام معیاری و سنگ مذکور در هر جای مساوی است . پس اگر ترازوی فنری در دو محل مختلف وزن کیلوگرام معیاری را مساوی نشان ندهد جای تعجب نخواهد بود زیرا قوه جاذبه زمین در محل های مختلف متفاوت می باشد .

از تشریحات فوق بصورت خلاص

میتوان گفت که وزن جسم را توسط

ترازوی فنری و کتله اجسام را توسط

ترازوی دو پله می معلوم کرده میتوانیم



شکل ( 3 - 2 )

مقدار فیزیکی که تیزی و جهت هر دو را مشخص میسازد بنام سرعت یاد میشود.  
پس گفته میتوانیم که تیزی یک کمیت سکالری است در حالیکه سرعت یک کمیت ویکتوری میباشد.

مثال ۱- سرعت یک موتور ۷۲ کیلو متر در یک ساعت میباشد سرعت آن را به متر فی ثانیه پیدا کنید  
برای حل این مثال باید کیلو متر را به متر و ساعت را به ثانیه تبدیل کرد.

$$V = \frac{72 \times 1000 \text{ m}}{60 \times 60 \text{ sec}} = \frac{20 \text{ m}}{1 \text{ Sec}}$$

$$= 20 \text{ m/sec}$$

سوال ۱- سرعت یک موتور ۶۰ km فی ساعت میباشد سرعت آن را به متر فی دقیقه پیدا کنید ؟  
۳-۱ مسیر و جهت حرکت :

فرضایک جسم روی مسیر یک منحنی حرکت میکند مانند شکل (۱-۱a) لازم است جهت حرکت آن را در نقطه A تعیین نمایم.

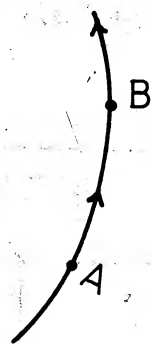
اگر ما نقطه دیگر B را نیز روی این منحنی

انتخاب نمایم در آن صورت وکتور AB

جهت حرکت را تعیین می نماید بشرط آنکه نقطه

B خیلی نزدیک به نقطه A باشد شکل

(۱-۱a)



بنابراین جهت حرکت روی مسیر منحنی توسط وکتور

شکل (۱-۱a)

محاسب در هر نقطه از منحنی مشخص میگردد مثلاً در شکل (۱-۱b) جهت حرکت در نقاط

A ، B ، C توسط وکتور محاسب در همان نقاط مشخص میگردد : مادرین فصل

## 6-2 سیستم واحداث

قبل دیدیم که واحد سرعت عبارت از  $m/sec$  و واحد تعجیل  $m/sec^2$  می باشد هر دو این واحداث به زمان و طول تعلق دارند. کثافت یک جسم از تقسیم نمودن کتده جسم بر حجم آن بدست نیاید. این واحد باز هم به کتده و طول جسم تعلق میگیرد. از مطالعه مقادیر مختلف فزیک دیده خواهد شد که واحداث آنها به وقت، طول و کتده تعلق دارند. بنابراین واحداث کتده، وقت و طول واحداث اساسی فزیک می باشد و دیگر واحداث فزیک از قبیل واحد سرعت، تعجیل و غیره همه واحداث اشتقاقی می باشند.

در ذیل واحداث مربوط به هر سیستم رابطوری مختصری نویسیم:

تعجیل	کتده	قوه	سیستم
$cm/sec^2$	gram	dyne	C.G.S
$m/sec^2$	kilogram	Newton	MKS
$ft/sec^2$	slug	Pound	FPS

یک داین قوه مقدار قوه است که بالای جسی با کتده یک گرام عمل کند به آن تعجیل یک  $cm/sec^2$  بدهد.

یک نیوتن قوه مقدار قوه است که بالای یک جسم با کتده  $1kg$  عمل کند به آن تعجیل  $1m/sec^2$  بدهد. یک سلگ کتده مقدار کتده است که بالای آن یک پوند قوه عمل کند آنرا یک فوت بر ثانیه مربع تعجیل بدهد.

حال چند مثال را بنحوا طر تطبیق واحداث فوق الذکر از نظری گذرانیم

مثال اول :- چه مقدار قوه یک ریل پاکتد 200ton متریک را که با سرعت  $24 \text{ m/sec}$  در حرکت است بعد از ( 2 ) دقیقه توقف خواهد داد.

$$\Delta v = v_t - v_o$$

$$\Delta v = 0 - 24 \text{ m/sec}^2$$

$$\Delta v = -24 \text{ m/sec}^2$$

چون  $a = \frac{\Delta v}{t}$  است بناؤ داریم :

$$a = \frac{\Delta v}{t}$$

$$a = \frac{-24 \text{ m}}{120 \text{ sec}^2}$$

$$a = -\frac{1}{5} \text{ m/sec}^2$$

هم چنان  $F = ma$  است بناؤ

$$F = ma$$

$$F = -200 \times 1000 \text{ kg} \cdot \frac{1}{5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

$$F = -\frac{2 \times 10^5}{5} \frac{\text{kgm}}{\text{sec}^2}$$

$$F = -4 \times 10^4 \text{ nt}$$

علامه منفی نشان میدهد که جهت حرکت و جهت قوه مخالف یکدیگر اند.

مثال دوم :- اگر یک موتور را که 1600 سلگ کند دارد در نظر بگیریم و برک آن

2400 پوند قوه را بالای موتور نگه دارد کند بعد از چند فوت فاصله موتور مذکور توقف خواهد

کرد اگر سرعت آن  $90 \text{ ft/sec}$  باشد .

حل: اگر تعجیل را بدانیم فاصله را نیز میتوان دریافت کرد.

$$a = \frac{f}{m} = \frac{2400 \text{ lb}}{1600 \text{ slug}}$$

$$a = 1,5$$

$$a = 1,5 \frac{\text{ft}}{\text{sec}^2}$$

برای دریافت فاصله از فرمول ذیل کار میگیریم

$$v_t^2 - v_o^2 = 2 a d$$

$$0 - (90)^2 = 2 \times (1,5) \cdot d$$

$$d = \frac{-8100}{3}$$

$$d = -2700 \text{ ft}$$

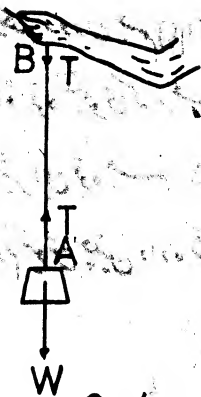
چون قوه عامل بربریک موثر را مثبت فرض کرده بودیم بنا بر آن تعجیل را نیز مثبت یافتیم این چنین معنی میدهد که مخالف سمت حرکت را مثبت فرض نموده ایم  $-2700 \text{ ft}$  نشان میدهد که موثر مذکور بعد از  $2700 \text{ ft}$  فاصله توقف خواهد کرد.

مثال سوم: - یک الکترون با کتد  $9 \times 10^{-28} \text{ gr}$  داخل یک سازه برقی میگردد و قوه  $1,8 \times 10^{-12}$  داین بالای آن عمل میکند. تعجیل الکترون را پیدا کنید.

$$a = \frac{f}{m} = \frac{1,8 \times 10^{-12} \text{ dyn}}{9 \times 10^{-28} \text{ gr}} = \frac{18 \times 10^{-13}}{9 \times 10^{-28}} = 2 \times 10^{+15} \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$$

## 2-7 کشش در تار Tension in String

فرض میکنیم یک جسم توسط یک تار از یک انجام اویزان و مانند شکل (4-2) توسط یک شخص به طرف بالا در حالت کش گرفته شده است. کش شدن تار توسط دست به شکل دیده شود



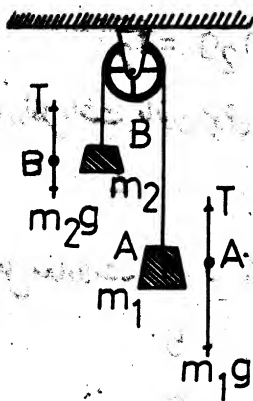
بنام کشش تار یاد می گردد بناءً کشش را میتوان  
 قوه عامل در تار تعریف کرد در نقطه B تنش یا  
 کشش به طرف پائین میباشد هم چنان قوه F مساوی  
 به وزن جسم در نقطه A عمل نموده ولی قوه مساوی  
 مختلف الیهت در همین نقطه از طرف تار به طرف  
 بالا عمل میکند بناءً مقدار کشش در طول تار عملی کند

و ثابت میباشد هرگاه جسم مورد نظر حرکت میکند Tension مساوی به وزن جسم میباشد  
 که در انجام تار آویخته شده و یا مساوی به قوه است که توسط تار بالای یک جسم عمل میکند و جسم  
 را به طرف بالا کش میکند .

## 8-2 حرکت یک جسم که در انجام یک تار بسته شده ؛

### a- حرکت بصورت عمودی ؛

اجسام با کتله های  $m_1$  و  $m_2$  که در یک تار بسته شده و تار از یک پولی گذشته مانند شکل (5-2)  
 در نظری میگیریم . اگر  $m_1 > m_2$  باشد جسمی A به طرف پائین با تعجیل a شروع به حرکت



شکل ( 5 - 2 )

خواهد کرد و جسم B نیز به همین تعجیل به طرف  
 بالا شروع به حرکت خواهد کرد . ما باید تعجیل a

و Tension ، T را در تار پیدا کنیم .

اولاً حرکت جسم A را مطالعوی نمائیم اگر T

کشش تار باشد جسم A قوه مساوی تنش T را  
 به طرف بالا بر تار دارد میکند اما وزن A یعنی

$w_1 = m_1 g$  بصورت عمود به طرف پائین عمل

نموده پس درین جا دو قوه است که بالای جسم A عمل میکنند (کشش T که به طرف بالا عمل میکند و وزن جسم  $w_1 = m_1 g$  که به طرف پایین عمل میکند) از شکل دیده می شود که  $m_1 g > T$  است بناءً قوه نتیجی که بر جسم A بصورت عمود به طرف پایین عمل میکند  $m_1 g - T = F_1$  تحت تاثیر این قوه جسم A به طرف پایین با تعجیل a حرکت مینماید. این مقدار قوه نتیجی از قانون دوم نیوتن چنین داده شده است.

$$F_1 = m_1 a$$

$$m_1 g - T = m_1 a \quad \dots \dots 3$$

حالا حرکت جسم B را به طرف بالا مطالعه می نمائیم. جسم B توسط Tension، T به طرف بالا کشی شود ولی وزن جسم B به صورت عمودی به طرف پایین عمل میکند که مقدار آن قرار ذیل پیدای شود.

$$w_2 = m_2 g$$

چون همین جسم با تعجیل a به طرف بالا حرکت میکند بناءً Tension تار بزرگتر از وزن جسم B میباشد پس قوه نتیجی که بر جسم B را به طرف بالا حرکت میآورد و به آن تعجیل a رامیدهد.

$$T - m_2 g = f_2$$

با در نظر داشت قانون نیوتن داریم:

$$T - m_2 g = m_2 a \quad \dots \dots 4$$

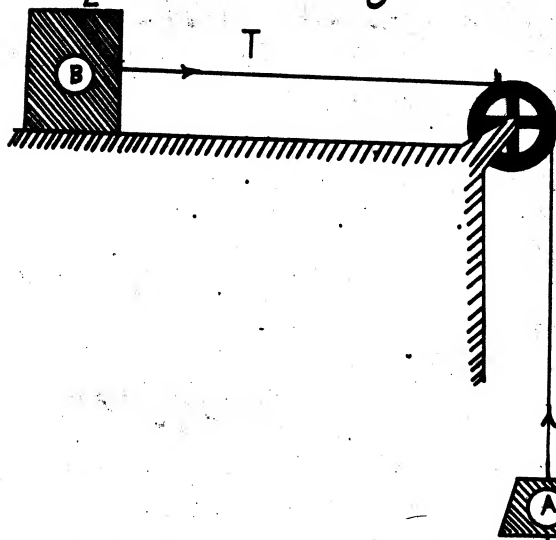
حل معادلات 3 و 4 برای دریافت a و t عبارت از

$$a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \cdot g \quad \dots \dots 5$$

$$T = \frac{2m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot g \quad \dots \dots 6$$

معادله 6 حکمی نماید که کشش تار و وزن جسم با هم مساوی نخواهد بود اگر جسم در حال حرکت باشد.  
 b- اگر یک جسم بصورت عمودی و جسم دیگری به شکل افقی حرکت میکند؛

دو جسم با کتله های A و B را به انجام های یک تار مانند شکل (2-6) بسته شده باشند



در نظر بگیرید. جسم A عموداً به طرف پائین با تعجیل a حرکت میکند در حالیکه جسم B روی سطح میز افقی با همین تعجیل حرکت می نماید. مانند بیشتر اگر T کشش تار باشد معادله حرکت جسم A (که عموداً به طرف پائین حرکت مینماید) عبارتست از:

(2-6)

$$m_1 g - T = m_1 \cdot a \dots\dots\dots 7$$

حال ما حرکت جسم B را مطالعه می نمائیم. سه قوه بر قوه بالای جسم B عمل میکند یکی قوه کشش تار است که به شکل افقی به طرف چپ عمل میکند. دوم وزن جسم است که عموداً به طرف پائین بالای سطح میز عمل میکند. سوم قوه کشش سطح است که از طرف سطح بالای جسم به طرف بالا عمل میکند چون حرکت به طرف پائین و بالا صورت نمیگیرد بنابراین هر دو قوه اخیر با هم مساوی و در جهت های مخالف یکدیگر میباشند پس یکدیگر را خنثی می سازد بنا بر قوه نتیجی که بالای جسم B عمل نموده و جسم B را به حرکت میآورد همان قوه کشش تار است. (از قوه اصطکاک صرف نظر شده است) پس با در نظر داشت قانون دوم نیوتن

$$T = m_2 \cdot a \dots\dots\dots 8$$

در محصل معادلات 7 و 8 برای a و T داریم:

$$a = \frac{m_1 \cdot g}{m_1 + m_2} \dots\dots\dots 9$$

$$T = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot g \dots \dots \dots 10$$

مثال اول- یک جسم با وزن 320 پوند با تعجیل  $3 \text{ ft/sec}^2$  به حرکت یکنواخت شروع به حرکت می نماید قوه عامل بر جسم مذکور را در صورتیکه  $g = 32 \text{ ft/sec}^2$  باشد پیدا کنید.

$$\text{وزن جسم} = w = 320 \text{ Pound}$$

$$m = \frac{w}{g} = \frac{320}{32}$$

$$m = 10 \text{ Slug}$$

$$\text{تعجیل} = a = 3 \text{ ft/sec}^2$$

از فورمول نیوتن داریم :

$$F = m \cdot a$$

$$F = 10 \text{ Slug} \cdot 3 \text{ ft/sec}^2$$

$$F = 30 \text{ Pound}$$

مثال دوم : یک موتوریکه وزن آن 1600 پوند است با سرعت  $60 \text{ ft/sec}$  در حرکت میباشد موتور بعد از گرفتن برک در مدت 30 sec متوقف می شود (فرضاً تا میل جسم یکسان باشد) قوه برک را که موتور را توقف میدهد پیدا کنید در صورتیکه  $g = 32 \text{ ft/sec}^2$  باشد.

$$\text{وزن جسم} \quad w = 1600 \text{ Pound}$$

$$\text{کند جسم} \quad m = \frac{w}{g} = \frac{1600}{32} = 50 \text{ Slug}$$

$$\text{سرعت ابتدائی} \quad V_o = \frac{60 \text{ ft}}{\text{sec}}$$

$$\text{زمان} \quad t = 30 \text{ sec}$$

## حال تعجیل را محاسبه می نمایم

$$Vt - Vo = at$$

$$0 - 60 = 30 a$$

$$a = -2 \text{ ft/sec}^2$$

علامه منفی نشان میدهد که تعجیل مخالف جهت سرعت اولیه است. یعنی حرکت موتور تا آخری میباشد. و قوه عامل بر موتور از رابطه ذیل تعیین میگردد.

$$F = m \cdot a$$

$$F = 50 \times 2$$

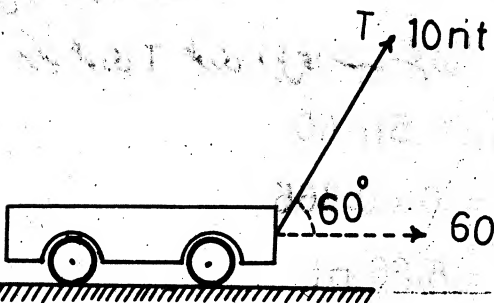
$$= -100 \text{ Pounds}$$

قوه در جهت تعجیلی است که مخالف جهت سرعت اولیه میباشد.

مثال سوم: یک کراچی که کتله آن 20 kg است توسط یک شخص با قوه 10 nt از یک دیسمان که زاویه 60° را به افقی سازد کش میشود. به کدام تعجیل کراچی مذکور روی سطح افقی حرکت

می نماید. و هم قوه عکس العمل زمین را پیدا کنید ( $g = 9.8 \text{ m/sec}^2$ )  
فرضاً چند قوه مختلف بالای کراچی عمل میکند.

۱- قوه اولی وزن جسم است که عموداً به طرف پایین عمل میکند



$$\text{وزن جسم} = m \cdot g$$

$$= 20 \times 9.8$$

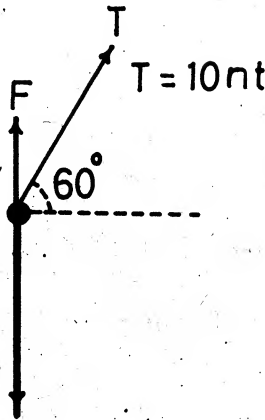
$$= 196 \text{ nt}$$

۲- قوه دوم قوه کش تار است که بالای کراچی

عمل میکند و آن عبارت از  $T = 10 \text{ nt}$  میباشد.

شکل ( 7 - 2 )

۳ - قوه سوم قوه عکس العمل سطح است و آن مساوی به قوه  $F$  است که بالای سطح فشار دارد



شکل ( 2-8 )

میکنند. هر سه قوه در شکل مقابل داده شده.

چون کراچی به امتداد سطح افقی حرکت

میکنند بنابراین باید قوه نتیجی را که سبب

حرکت به سطح افقی میگرد پدید آکنیم.

مرکبه افقی کشش تار  $T$  عبارت  $T \cos 60^\circ$  میباشد

$$\text{مرکبه افقی} = 10 \times \frac{1}{2} = 5 \text{ nt}$$

تجهیل حرکت یعنی  $a$  را از رابطه ذیل تعیین میکنیم.

$$f = ma$$

$$a = \frac{f}{m}$$

$$a = \frac{5}{20}$$

$$a = 0,25 \text{ m/sec}^2$$

چون کراچی به تجهیل  $0,25 \text{ m/sec}^2$  حرکت میکند از شکل ( 2-8 ) دیده میشود که  $F$  قوه است که

زمین کراچی را به طرف بالا تیلد میخاید مقدار آن وقتی دریافت میگردد که مقدار قوه خالص عمودی که بر کراچی

عمل میکند دریافت گردد.

مرکبه عمودی  $T$  طوری ذیل محاسبه میگردد.

$$\text{مرکبه عمودی } T_1 = T \sin 60$$

$$= 10 \times 0,866$$

$$= 8,66 \text{ nt}$$

بنابراین قوه مجموعی به طرف بالا عبارت از  $F + 8,66 \text{ nt}$  میباشد.

$$\text{قوة مجموعی که به طرف پایین عمل میکند} = mg = 196 \text{ nt}$$

$$196 - (f + 8,66) = \text{قوة عمودی نتیجوی}$$

چون کراچی در جهت عمودی حرکت کرده نمیتواند بنابراین محصله قوه به در جهت عمودی مساوی به صفر میباشد.

$$F + 8,66 - 196 = 0$$

$$F = 187,34 \text{ nt}$$

مثال چهارم: یک شخص که 128 پوند وزن دارد بالای یک لفت استاده است لفت به تخیل  $12 \text{ ft/Sec}^2$  به طرف بالا در حرکت است قوه وارده بر لفت از طرف شخص مذکور پیدا کنید؟

$$\text{وزن شخص} = 128 \text{ lb}$$

$$\text{کتله} = \frac{128}{32} = 4 \text{ Slug}$$

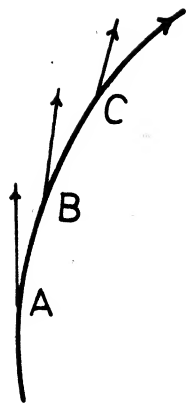
اگر قوه عامل از طرف شخص پرنده کننده (elevator)  $F$  را به نظر به قانون سوم نیوتن قوه عکس العمل بالای شخص مذکور به طرف بالا نیز  $F$  میباشد. بنابراین دو قوه بالای شخص مذکور عمل میکنند یکی وزن جسم  $mg = 128 \text{ lb}$  عموداً به طرف پایین و دیگری  $F$  یعنی قوه عکس العمل سطح به طرف بالا، چون شخص مذکور به طرف بالا تخیل میگیرد بنابراین قوه  $F$  بزرگتر از وزن جسم میباشد پس قوه نتیجوی عامل بر شخص مذکور بطور عمودی به طرف بالا عبارت از  $(F - 128)$  میباشد. با در نظر داشت قانون دوم نیوتن داریم

$$F - 128 = ma$$

$$F - 128 = 4 \times 12$$

$$F = 128 + 48$$

$$F = 176 \text{ lb}$$



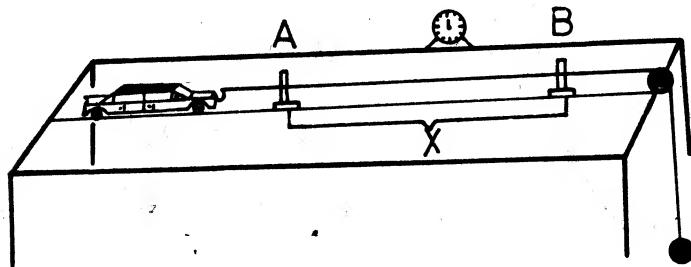
حرکت مستقیم الخط را مطالعه میکنیم  
 بناءً در حرکت مستقیم الخط جهت حرکت  
 جهت خط مستقیم میباشد که بالای  
 آن متحرک حرکت میکند شکل (۱-۱)  
 پس مسیر حرکت محل هندسی نقاط است  
 که بالای آن یک جسم حرکت مینماید

شکل (۱-۱)

#### ۴-۱ حرکت با سرعت ثابت (حرکت یک نواخت) :

هر متحرکی که در زمان مساوی فواصل مساوی را طی کند دارای سرعت ثابت و یا حرکت  
 یک نواخت میباشد. نمونه این حرکت در طبیعت کم است ولی میتوان آنرا توسط یک تجربه در صنف  
 تشریح کرد. در شکل پایان یک تجربه برای حرکت یک نواخت طرح شده که شما میتوانید تجربه مشابه  
 آن را در صنف اجرا کنید.

تجربه : یک موتورک بازی اطفال را گرفته بروی میز تجربه قرار دهید مانند شکل (۲-۱)



شکل (۲-۱)

توسط یک تار این موتورک را بسته و انجام دیگر تار را از چرخ ثابت بگذرانید و وزن ثابت را  
 از انجام دوم تار طوری اویزان کنید که موتورک را به حرکت بیاورد. وقتی که موتور در نقطه A

## تمرینات فصل دوم

### گروه اول سوالات تشریحی :

- ۱- عامل حرکت چه است تعریف دارید .
- ۲- قانون دوم نیوتن در حرکت های مستقیم الخط کدام فکتورهای فیزیکی را تشریح میکند .
- ۳- عطالت کدام خاصیت یک جسم است تشریح کنید .
- ۴- یک نیوتن قوه کدام مقدار قوه است تعریف نمائید .
- ۵- در سیستم  $F, P, S$  واحد کتد چه است معرفی دارید .
- ۶- وزن و کتد با هم چه فرق دارند تشریح کنید .

### گروه دوم سوالات نام تکمیل :

- ۱- تمام اجسام حالت ( ) و یا حرکت مستقیم الخط ( ) خود را حفظ خواهد کرد تا آنکه کدام قوه غیر متوازن بالای آن عمل نکند .
- ۲- اجسام میل دارند برای تغییر حالت خود ( ) ، راز خود نشان دهد . این خاصیت اجسام را بنام ( ) جسم یاد میکنند .
- ۳- اگر جسی تحت تاثیر کدام قوه ( ) واقع شود این قوه به آن جسم ( ) میدهد ، مستقیماً متناسب به قوه و معکوس متناسب به ( ) میباشد .
- ۴- برای هر عمل ( ) وجود دارد که ( ) و ( ) میباشد .

### گروه سوم سوالات صحیح و غلط :

- ۱- واحد کتد در سیستم  $M, K, S$  ،
  - a - متر میباشد
  - b - کیلو گرام میباشد
  - c - گرام میباشد
  - d - سلک میباشد

۲ - عامل حرکت را :

a - تعجیلی نامند

c - قوه می نامند

b - کندی نامند

d - مقاومت می نامند

m - کندی یک جسم :

a - از عطالت آن بصورت مستقیم اندازه شده میتواند .

b - از عطالت آن بصورت مستقیم اندازه شده نمیتواند .

c - هر دو جمله a و b درست است .

d - هیچ کدام درست نیست .

اشعه حالات زیر تعجیل پدید آید :

a - وقتی که 50nt بالای جسی با 50kg عمل میکند .

جواب (  $\frac{1m}{sec^2}$  )

b - وقتی که یک جسم به وزن 96lb توسط قوه 15lb تیلد میشود .

جواب (  $5ft/sec^2$  )

c - وقتی که 1Slug توسط قوه 9 پوند کشی شود .

جواب (  $5ft/sec^2$  )

d - وقتی که 15gr تحت قوه 225dyn واقع شود .

جواب (  $15cm/sec^2$  )

۲ - یک مری به سرعت  $100m/sec$  در حرکت بوده و کتله آن  $0.005kg$  میباشد این مری در یک بوری پُر

از ریگ اصابت میکند و بعد از  $25cm$  فاصله داخل بوری توقف میکند قوه تاخیری مری را پیدا کنید .

جواب ( 100 nt )

۳- يك الكترون در تيوب تخلیه شده از حالت سکون با تعجيل کینواخت شروع به حرکت مینماید و سرعت آن به  $6 \times 10^6 \text{ m/sec}$  بعد از طی فاصله  $1.8 \text{ cm}$  میرسد قوه عامل بر الكترون را پیدا کنید. كتله الكترون  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  میباشد.

جواب (  $9.1 \times 10^{-16} \text{ nt}$  )

۴- يك بايسکل سوار با بايسکل خویش  $160 \text{ lb}$  وزن دارد زمانی که سرعت آن به  $10 \text{ ft/sec}$  میرسد بايسکل سوار پايدان های بايسکل را از دوران باز میدارد و بعد از فاصله  $250 \text{ ft}$  توقف می نماید. قوه اصطکاک را که مانع حرکت میگردد محاسبه کنید.

جواب (  $1.0 \text{ lb}$  )

۵- يك جسم با كتله  $49 \text{ kg}$  از حالت سکون توسط قوه  $20 \text{ nt}$  به حرکت میآید و بعد از مدت يك دقيقه و ده ثانیه متوقف میگردد فاصله طی شده توسط این جسم را پیدا کنید.

جواب (  $1 \text{ km}$  )

۶- اگر فاصله طی شده توسط يك جسم با زمان مستقیماً متناسب باشد رابطه بین قوه عامل و حرکت را پیدا کنید.

- دو موتور با كتله  $1200 \text{ kg}$  و  $1500 \text{ kg}$  از يك محل شروع به حرکت می نمایند. موتور يك كتله آن  $1200 \text{ kg}$  است. از حالت سکون تحت قوه  $3600 \text{ nt}$  شروع به حرکت می نماید و موتور دوم تحت قوه  $1500 \text{ nt}$  شروع به حرکت مینماید.

a- بعد از چه وقت فاصله جدائی بین دو موتور  $100 \text{ m}$  خواهد بود؟

b- سرعت هر کدام این موتور را در این فاصله دریافت کنید.

جواب ۱۰ ثانیه،  $30 \text{ m/sec}$ ،  $10 \text{ m/sec}$

۸ - يك مكعب مستطیل از حالت سکون توسط قوه ثابت  $16 \text{ nt}$  روی يك ميز کش میشود بعد از مدت 3 ثانیه مكعب مستطیل می شکند و به دو پارچه مساوی تقسیم می شود . يك پارچه آن که  $2 \text{ kg}$  کتله دارد هنوز هم تحت قوه  $16 \text{ nt}$  کش شده و قسمت دوم آن در حالت سکون می ماند به چه فاصله این دو توده بعد از پنج ثانیه بعد از شکستن آن از هم واقع خواهند شد ؟

جواب (  $100 \text{ m}$  )

۹ - دو جسم با کتله های ۶ و ۵ کیلوگرم در دو اسنجم تار بسته شده و از پولي ثابت اویزان شده اند مطابق است تعجیل و کشش در تار . ( تعجیل جاذبه زمین  $g = 9,8 \text{ m/sec}^2$  )

جواب (  $0,2 \text{ m/sec}^2$  )

۱۰ - دو جسم A و B به دو اسنجم يك تار که از بالای يك پولي گذرشته هر دو عموداً اویزان میباشند . اگر کتله جسم A  $4,8 \text{ kg}$  باشد کتله جسم B چقدر خواهد بود حرکت این جسم به طرف پایین بوده و با تعجیل  $0,2 \text{ m/sec}^2$  به طرف پایین در حرکت است  $g = 9,8 \text{ m/sec}^2$  میباشد .

۱۱ - يك جسم با وزن  $138,56 \text{ lb}$  روی يك سطح شیب بدون اصطكاك افقی با قوه  $5 \text{ lb}$  از يك تار يك با افق زاویه  $30^\circ$  را می سازد کش میشود . تعجیل جسم مذکور را در هم توده عکس العمل سطح را پیدا کنید . جواب  $a = 1,00 \text{ ft/sec}^2$

۱۲ - دو جسم با وزن  $10,2 \text{ kg}$  و  $4,5 \text{ kg}$  به دو اسنجم يك تار که از يك پولي گذرشته اویزان شده اند طوريك جسمی با وزن  $10,2 \text{ kg}$  روی يك سطح ميز وزن  $4,5 \text{ kg}$  بطوري عمودی اویزان شده است تعجیل کشش در تار و قوه که از طرف سطح بالای جسمی با وزن  $10,2 \text{ kg}$  عمل میکند را پیدا کنید . جواب  $30,6 \text{ nt}$ ,  $99,96 \text{ nt}$ ,  $5 \text{ m/sec}^2$

# فصل سوم

## انرژی و مومنتم

### 1-3 کار و انرژی :

کلمه 'کار' در فزیک عبارت از عمل انتقال یک جسم تحت قوه  $F$  به یک فاصله  $d$  می باشد. کار یک مفهوم فزیک است که با انرژی میانیکی رابطه بسیار نزدیک دارد و شمار صنوف پائین به مفهوم کار آشنا شده اید در اینجا نیز این مفهوم فزیک را به تفصیل تعقیب میکنیم و بعد ارتباط بین کار و انرژی را مطالعوی نمائیم

اگر قوه تغییر مکان  $d$  جسم به امتداد قوه  $F$  باشد کار اجرا شده توسط قوه مذکور عبارت از حاصل ضرب قوه و فاصله تغییر مکان جسم می باشد یعنی :

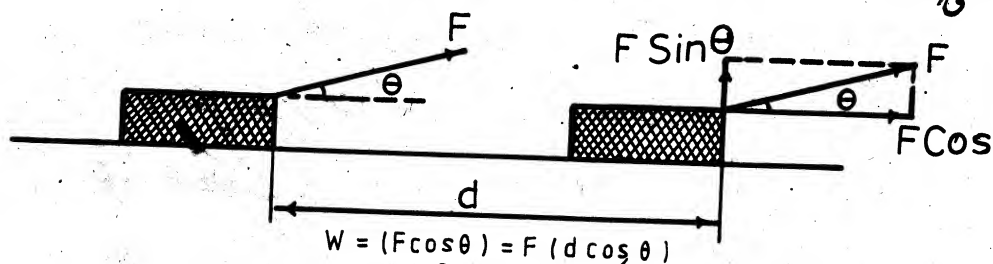
$$(w) = f \times d \dots \dots \dots (1)$$

فاصله  $\times$  قوه = کار

قوه عامل همیشه در جهت تغییر مکان جسم نه می باشد. شکل (1-3). اگر قوه عامل  $F$  با جهت تغییر مکان  $d$  زاویه  $\theta$  را می سازد. در آن صورت مقدار کار از حاصل ضرب آن مرکبه قوه  $F$  که به امتداد تغییر مکان می باشد در فاصله  $d$  بدست خواهد آمد

$$w = F \cdot d \cos \theta \dots \dots \dots (2)$$

از اینجا گفته می‌توانیم که کار به سه عامل (قوه، تغییر مکان و زاویه بین جهت تغییر مکان و قوه) بستگی دارد.



شکل (3-1)

از معادله (1)، می‌توان گفت که کار مثبت می‌باشد اگر جهت قوه و جهت تغییر مکان نقطه تأثیر آن یکی باشد زیرا در این حالت زاویه  $\theta = 0$  بوده  $\cos \theta = +1$  می‌باشد ولی اگر قوه و جهت تغییر مکان مقابل یا متضاد باشد در آن صورت کار منفی می‌باشد زیرا،  
 $\theta = 180^\circ$  و  $\cos 180^\circ = -1$  می‌باشد

### 3-3 واحدهای کار

در تمام سیستم‌های واحدها بین المللی واحد کار عبارت از حاصل ضرب واحد قوه و واحد طول در همان سیستم می‌باشد در سیستم M, K, S واحد کار Joule می‌باشد. اگر قوه یک نیوتن بالای یک جسم عمل کند و آن را به فاصله یک متر در جهت قوه انتقال دهد همین مقدار کار را یک ژول تعریف کرده می‌توانیم

$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ nt} \times 1 \text{ m} \dots \dots \dots 3$$

در سیستم C, G, S واحد کار erg می‌باشد. هرگاه قوه یک داین بالای یک جسم عمل کند و آن جسم را به فاصله 1cm در جهت قوه انتقال دهد این مقدار کار را یک ارگ می‌گویند.

$$1 \text{ erg} = 1 \text{ dyne} \times 1 \text{ cm} \dots \dots \dots 4$$

با تبدیل یونس dyne به m و cm رابطه (3-3) شکل ذیل را می‌گیرد.

$$1 \text{ Joule} = 10^7 \text{ erg}$$

«سیستم انگیسی مقدار کار توسط  $f \cdot t \cdot lb$  اندازه میشود.

این مقدار کار را طوری ذیل تعریف می‌نمائیم اگر یک پوند قوه بالای یک جسم عمل کند و آن را به فاصله یک  $f \cdot t$  انتقال دهد همین مقدار کار را  $f \cdot t \cdot lb$  مینامند.

2-3 کار قوه اصطکاک :

برای اینکه جسم علناً با سرعت ثابت روی یک سطح افقی حرکت کرده بتواند به قوه ضرورت است که قوه اصطکاک را مغلوب سازد اگر ضریب اصطکاک بین جسم و سطح  $\mu$  باشد در آن صورت قوه اصطکاک

$$F = \mu \cdot N$$

در اینجا  $F$  قوه اصطکاک میوه  $\mu$  ضریب اصطکاک  $N$  قوه عمود بر سطح میباشد پس کاریکه در اثر انتقال یک جسم در مقابل قوه اصطکاک اجرائی شود مساوی است به :

$$W_{fr} = F_{fr} \cdot d$$

$$W_{fr} = \mu \cdot N \cdot d \quad (6)$$

و وقتی که جسم روی سطح افقی حرکت میکند قوه عمود بر سطح  $N = mg$  میباشد بنابراین

$$W_{fr} = \mu \cdot mg \cdot d \quad (7)$$

مثلاً : اگر جسی بکند  $5 \text{ kg}$  روی یک سطح افقی که ضریب اصطکاک آن  $0,25$  است با سرعت ثابت به فاصله  $4 \text{ m}$  کش شود کاریکه برای غالب آمدن بر قوه اصطکاک اجرائی شود مساوی است به :

$$W_{fr} = 0,25 \times 5 \times 9,8 \times 4$$

$$W_{fr} = 49 \text{ Joules}$$

این کار به مراتب کمتر از کاریست اگر همین جسم به ارتفاع  $4 \text{ m}$  به طرف بالا برده شود ، زیرا در این حالت کار برای غلبه بر قوه جاذبه زمین انجام می‌شود و این کار مساوی است به :

$$Wg = m \cdot g \cdot h$$

$$Wg = 5 \times 9,8 \times 4 = 196 \text{ Joul}$$

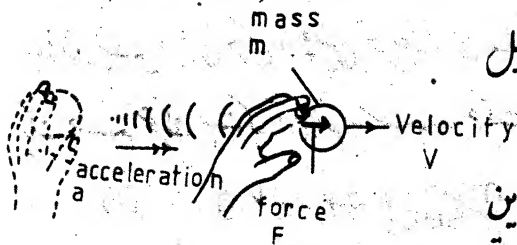
درین مثال طوری که دیده می شود کار قوه اصطکاک مساوی  $\frac{1}{4}$  کار جاذبه می باشد. چون کار قوه اصطکاک ذخیره نمی شود و تلف می گردد بناءً باید کوشش شود در مقابل حرکت تا جاییکه ممکن است اصطکاک کم گردد.

#### 3-4 انرژی حرکتی و انرژی پوتنسیل :

میدانید که انرژی میخائیک بی دو نوع انرژی حرکتی و انرژی پوتنسیل ظاهر میگردد.

#### 3-5 انرژی حرکتی :

در شکل (2-3) حرکت یک توپ با کتله  $m$  که با سرعت  $v$  در حرکت است نشان داده شده و توپ از حالت سکون  $v_0 = 0$  شروع و سرعت آن به نسبت قوه  $F$  که در طول  $d$  بالای توپ عمل میکند به  $v$  میرسد. تعجیل



این توپ  $a$  می باشد.

مثل دیگر جسم متحرک توپ نیز درین حالت انرژی حرکتی دارد. فرض میکنیم که مقاوم هوا قابل صرف نظر باشد. در این صورت

شکل (2-3)

انرژی حرکتی جسم (توپ) مساوی به مقدار کار است که برای انتقال توپ بکار میرود.

$$\text{فاصله} \times \text{قوه} = \text{کار اجرا شده توسط توپ}$$

$$d \times F = \text{کار اجرا شده توسط توپ}$$

یا

$$\text{انرژی حرکتی} = F \times d$$

انرژی حرکتی توپ به دو فکتور تعلق میگیرد. یکی کند و دیگری سرعت آن ولی مشکل در این است که چطور در رابطه فوق انرژی حرکتی را از جنس کند و سرعت دریافت نمائیم. ممکن است این مشکل با استفاده از قانون دوم نیوتن  $f = ma$  و معادله حرکت  $v^2 = v_0^2 + 2ad$  حل گردد چون  $v_0 = 0$  است پس:

$$v^2 = 2ad$$

$$d = \frac{v^2}{2a}$$

پس انرژی حرکتی از رابطه ذیل تعیین میگردد.

$$\text{انرژی حرکتی توپ} = f \times d = ma \cdot \frac{v^2}{2a}$$

$$" " " = K_E = \frac{1}{2} mv^2$$

یا به عبارت دیگر انرژی یک جسم با کمده  $m$  که با سرعت  $v$  در حرکت باشد  $\frac{1}{2} mv^2$  میباشد پس انرژی حرکتی را چنین تعریف می نمائیم. انرژی حرکتی قابلیت و استعداد انجام کار یک جسم متحرک است که آن جسم به سبب حرکت خود دارا میباشد.

اگر کمده به  $kg$  و سرعت به  $m/sec$  اندازه شود انرژی حرکتی به  $Joule$  اندازه

میشود. بطور مثال: اگر جسمی با کمده  $0,5 kg$  و با سرعت  $4 m/sec$  در حرکت باشد:

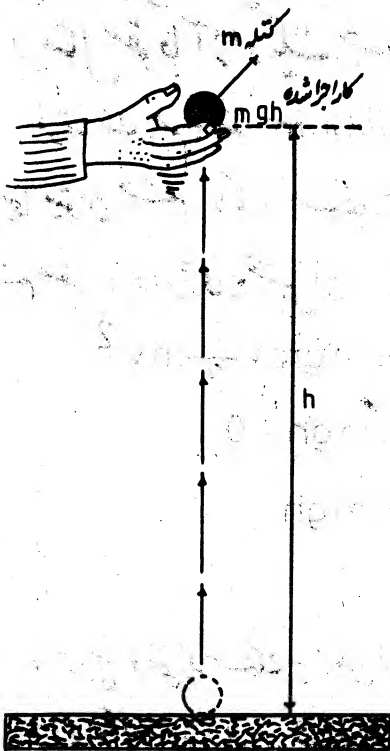
$$\begin{aligned} \text{انرژی حرکتی (KE)} &= \frac{1}{2} (0,5 kg) \left( \frac{4m}{sec} \right)^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 16 kg \frac{m^2}{sec^2} \\ &= 4 kg \frac{m^2}{sec^2} \\ &= 4 \text{ Joule} \end{aligned}$$

### 6-3 انرژی پوتنشیل :

انرژی پوتنشیل قابلیت انجام کار نهفته در یک جسم است که آن جسم به سبب موقعیت و حالت خاص خود دارا می باشد. موتوریک بالای تپه روبه پایین قرار دارد و یا فنر ساعت که کوک شده باشد یا آبیکه پشت یک بند واقع است مثال های از جسمی است که دارای انرژی پوتنشیل می باشد. زیرا موتوریک بالای تپه سر به پایان قرار دارد اگر رها گردد میتواند فاصله زیاد را توسط ماشین خاموش خود طی نماید فنر جمع شده ساعت نیز میتواند چرخ ساعت را به حرکت بیاورد و آب داخل بند در پایین میتواند موتور مولد برق را به حرکت بیاورد انرژی پوتنشیل یک جسم را از مقدار کار یکد توسط آن جسم اهرامگردد بدست آورده می توانیم چون واحد کار ژول است بناءً واحد انرژی نیز ژول Joules می باشد.

### 7-3 انرژی پوتنشیل جاذبوی :

اگر یک جسمی با توده  $m$  را مطابق شکل به ارتفاع  $h$  بالا ببریم جسم در ارتفاع  $h$  بنا بر حالت خاصی که نسبت به موقعیت اولی خود اختیار نموده دارای یک انرژی پوتنشیل می باشد چون برای بردن جسم  $m$  به ارتفاع  $h$  باید یک کار  $f \times h$  را اهرامانیم در اینجا  $F$  وزن جسم می باشد بناءً مقدار کار  $W = m \cdot gh$  می باشد این مقدار کار بصورت انرژی پوتنشیل جاذبوی جسم ذخیره میگردد یعنی ۱



شکل (3-3)

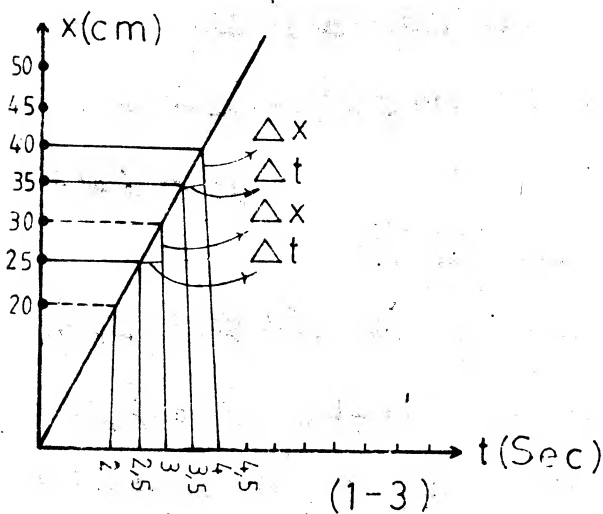
$$E_p = mgh \text{ انرژی پوتنشیل جاذبوی}$$

رسید ستاپ واچ را شروع و زمانی که به نقطه B میرسد ستاپ واچ را ایستاد نمایند .  
فاصله روی میز از A تا به B را بواسطه خط کش اندازه و زمان مربوط همین فاصله را از ستاپ  
واچ گرفته و در یک جدول درج کنید . همین عملیه را برای فواصل مختلف تکرار و جدول را خانه  
پوری کنید .

فرضاً فاصله و زمان های مربوط تجربه قرار ذیل باشد

تعداد تجارب	فاصله $x$ (cm)	وقت $t$ (s)	سرعت متوسط $v = \frac{x}{t}$
1	20	2	10 cm/sec
2	25	2,5	10
3	30	3	10
4	35	3,5	10
5	40	4	10
6	45	4,5	10

برای دریافت رابط بین  $x$  و  $t$  لازم است گراف آن را رسم نماییم . اگر فاصله را روی محور عمودی



و زمان را روی محور افقی معرفی

نماییم در آن صورت گراف شکل ذیل را

می گیرد چون نقاط  $P(x, t)$  و متنی که

با هم وصل میگردند یک خط مستقیم

را می دهد . طوریکه نسبت  $\frac{x}{t}$

ثابت بوده این ثابت عبارت از

سرعت میباشد پس در هر حرکت که سرعت

ثابت و تغییر سرعت صفر باشد آن حرکت را حرکت یکنواخت میگویند .

انرژی پوتنسیل جاذبوی را معمولاً نظر به سطح بحر یا سطح زمین که انرژی پوتنسیل آن صفر باشد می‌سنجند .

### 8-3 بقای انرژی میخانیکی در یک دستگاه منفرد :

قبلاً گفتیم که مجموعه انرژی پوتنسیل و حرکی در یک دستگاه عبارت از انرژی میخانیکی است

$$E_m = E_p + E_k \quad \text{انرژی میخانیکی}$$

انرژی می پوتنسیل و حرکی با یکدیگر قابل تبدیل می باشد مانند شکل ( 3-3 ) در صورتیکه کدام قوه خارجی بالای جسم عمل نکند کاهش یکی از این دو نوع انرژی مساوی به افزایش نوع دیگر انرژی است در نتیجه مجموعه این دو نوع انرژی ثابت می باشد برای توضیح بیشتر مطلب مثال ذیل را از نظر میگردانیم :

### 9-3 مثال سقوط آزاد یک جسم :

فرضاً یک جسم به جرم  $m$  از ارتفاع  $h$  بدون سرعت اولیه بالای زمین سقوط میکند در اینجا میتوان جسم را یک دستگاه منفرد قبول کرد . در لحظه شروع به حرکت انرژی حرکی جسم صفر و انرژی پوتنسیل آن  $mgh$  است پس داریم :

$$E_1 = mgh + \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{انرژی میخانیکی در نقطه ( 1 )}$$

$$E_1 = mgh + 0$$

$$E_1 = mgh$$

به تدریج وقتی که سنگ به زمین نزدیک می شود انرژی پوتنسیل آن کاهش میابد و در عوض انرژی حرکی آن زیاد می شود چون انرژی به شکل دیگر صایع نه میگردد میزان کاهش انرژی پوتنسیل  $(-\Delta E_p)$  در هر لحظه مساوی به میزان افزایش انرژی حرکی  $(+\Delta E_c)$

میباشد پس حین رسیدن جسم به سطح زمین انرژی پوتنشیل آن صفر و انرژی حرکتی آن  $\frac{1}{2}mv^2$  میباشد. چون  $v^2 = 2gh$  است بناً

$$E_2 = \frac{1}{2}mv^2 + 0 = \frac{1}{2}m(2gh) = mgh$$

$$(1) \quad E_K = 0$$

$$E_P = mgh$$

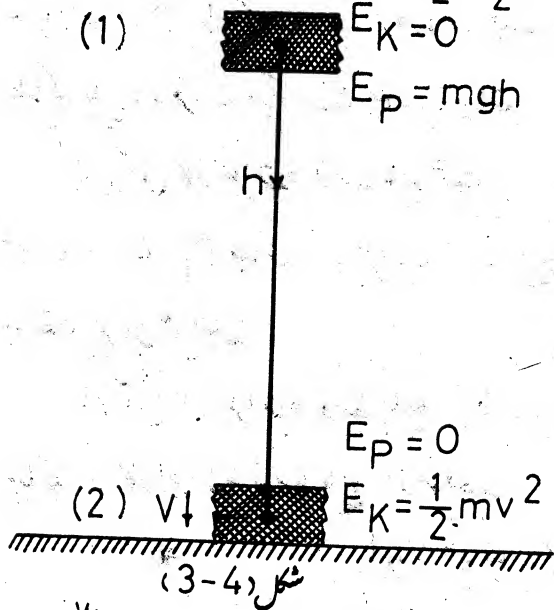
اگر سنگ بصورت عمودی به طرف بالا پرتاب شود. میزان کاهش انرژی حرکتی مساوی به میزان افزایش انرژی پوتنشیل میباشد یعنی

$$\Delta E_P = -\Delta E_C$$

$$\Delta E_P + \Delta E_C = 0$$

$$\Delta (E_P + E_C) = 0$$

$$E_P + E_C = \text{Constant}$$



### 3-10 قانون برنولی

جریان یک مایع رادریک پایپ

طبق شکل (3-5)، در نظر میگیریم

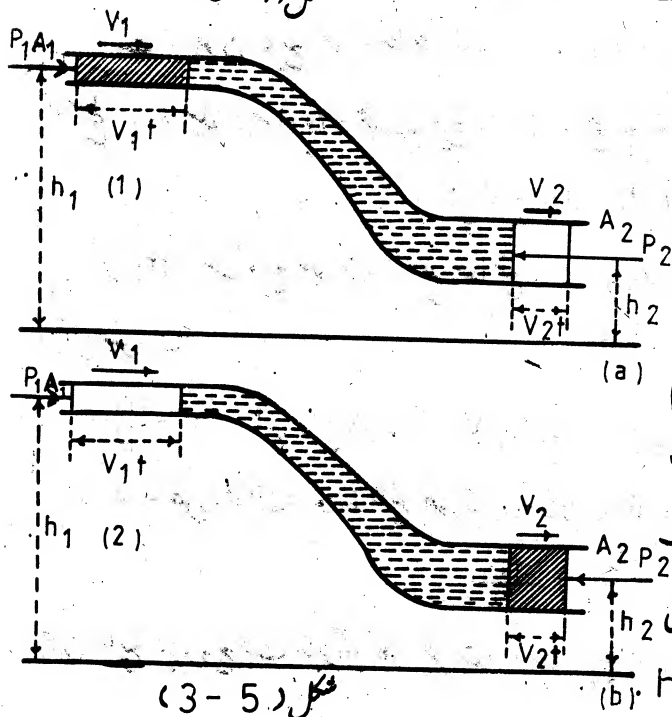
این پایپ دارای سطح مقطع یکنواخت یا مشابه برای یک طول کوچک در انجام

میباشد. مساحت سطح مقطع تیوب در طرف

چپ  $A_1$  و سطح مقطع تیوب در طرف

راست  $A_2$  میباشد هر دو انجام این

پایپ به شکل افقی به ارتفاع  $h_1$  و  $h_2$



از سطح زمین قرار دارد.

الکون بیایید که حرکت مایع را در حدود انجام تیوب تحت مطالعه قرار دهیم. در طرف چپ پایب سرعت مایع  $V_1$  و فشار مایع  $P_1$  میباشد. این مقادیر در طرف راست تیوب به  $V_2$  و  $P_2$  ارایه گردیده اند. در طرف چپ مایع در تیوب به فاصله  $l_1 = V_1 t$  و قوه عامل که مایع را به حرکت میآورد  $F_1 = P_1 A_1$  میباشد.

بنابر آن کار اجرا شده توسط مایع تحت قوه  $F_1$  به فاصله  $L_1$  عبارت از  $F_1 \times L_1$  یا  $F_1 \times V_1 t$  میباشد. در طرف راست مایع فاصله  $l_2 = V_2 t$  که قوه  $F_2 = P_2 A_2$  در مقابل جریان عمل میکند.

بنابر آن کار اجرا شده توسط مایع در طرف راست  $F_2 \times l_2$  یا  $F_2 \times V_2 t$  میباشد. کار اجرا شده توسط مایع از موقعیت (1)، تا موقعیت (2)، مساوی

$$\Delta W = P_1 A_1 V_1 t - P_2 A_2 V_2 t \quad * \quad 1$$

است. چون مایع مورد نظر غیر قابل فشار و غیر لزوج است بنابر آن حجم مایع که از سطح  $A_1$  میگذرد مساوی به حجم مایع است که از سطح  $A_2$  میگذرد

$$A_1 V_1 t = A_2 V_2 t$$

اگر  $m$  کتله مایع عبور شده از سطح مقاطع  $A_1$  و  $A_2$  در زمان  $t$  و  $\rho$  کثافت آن باشد در آن صورت.

$$V = A_1 V_1 t = A_2 V_2 t = \frac{m}{\rho}$$

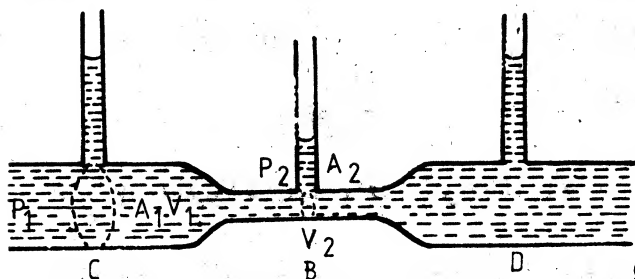
لذا کار خالص اجرا شده توسط مایع طوریکه در معادله \* افاده شد چنین نوشته شده میتواند

$$\Delta W = (P_1 - P_2) \frac{m}{\rho}$$

چون مایع غیر لزوج است بنابر آن کار اجرا شده توسط مایع مساوی به تغییر انرژی حرکتی پوتنشیل میباشد



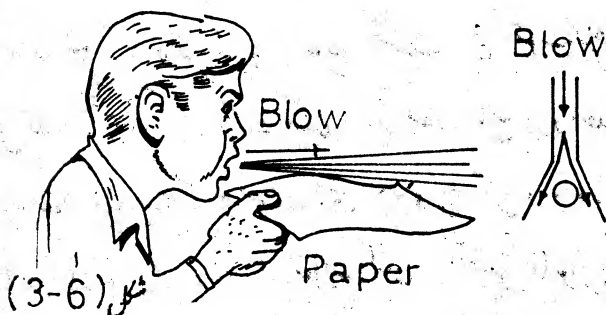
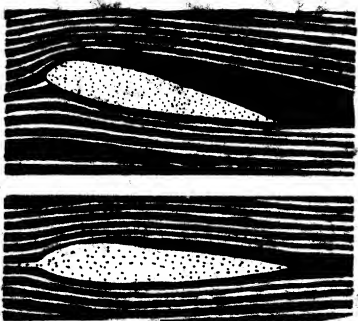
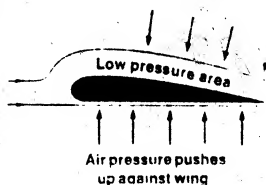
بزرگ از  $P_2$  باشد. پس گفته می‌توانیم که فشار مایع در قسمت باریک نل کمتر نسبت به قسمت ضخیم آن می‌باشد.



قانون برنولی یک پرنسپ عمومی بوده  
و برای جریان مایعات و گازات قابل  
تطبيق میباشد. طوری مثال جریان

هوا حول بال طیاره که در حالت پرواز باشد در نظر می‌گیریم: شکل پایین جریان هوا حول بال طیاره در

شکل (3-6) نشان داده شده.



شکل (3-6)

بال طیاره طوری ساخته شده که فاصله طی شده توسط هوا از بالای بال طیاره نسبت به آن  
فاصله یک هوا تحت بال طیاره طی میکند خیلی زیاد میباشد بنابراین فشار در تحت بال طیاره بیشتر  
نسبت به فشار در فوق بال میباشد. این تفاوت فشار طیاره را در هوا در حالت پرواز نگاه میکنند.

**مثال:** نل ایکه قطر آن از 6 cm به 3 cm تقلیل یابد دیک نوع ایل به  
کثافت  $0,83 \text{ gr/cm}^3$  در قسمت بزرگ آن که به سرعت  $50 \text{ cm/sec}$  در حرکت  
است در نظر می‌گیریم. از آن جانیکه قطر قسمت خورد نل به اندازه نصف قطر قسمت ضخیم آن است

نسب نتیجه می شود که مقطع کوچک تل به اندازه  $\frac{1}{4}$  ام هند مقطع بزرگ آن یعنی  
 $A_1 = \pi r_1^2 = 9\pi \text{ cm}^2$  ،  $A_2 = \pi r_2^2 = \frac{9}{4}\pi \text{ cm}^2$  می باشد این بدان  
 است که سرعت تل در مقطع کوچک تل چارچند سرعت آن در قسمت بزرگ آن می باشد.  
 با در نظر داشت معادله اخیر داریم :

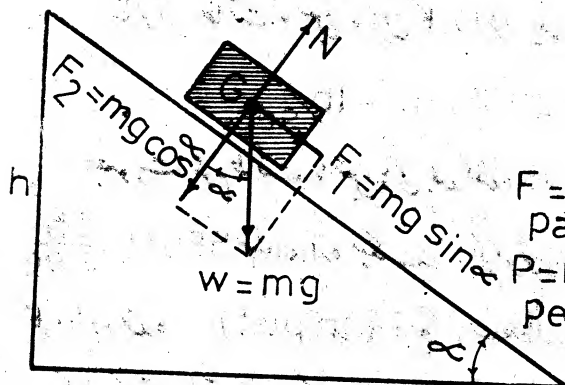
$$\begin{aligned} P_1 - P_2 &= \frac{1}{2} \times 0,8 (200^2 - 50^2) \\ &= 0,4 (40000 - 2500) \\ &= 0,4 (37500) \\ &= 15000 \end{aligned}$$

$$= 1,5 \times 10^4 \text{ dynes/cm}^2$$

### 3-12 سطح مایل :

شکل ذیل یک جسمی را نشان میدهد که روی یک سطح مایل که به افق زاویه  $\infty$  (رادیان)  
 روبه پایین تحت قوه که سبب تعجیل این جسم میگردد می لغزد. این قوه در استقامت حرکت

موازی به سطح مایل عمل میکند. اکنون وزن  $mg$  جسم  
 را که عموداً بر سطح افقی عمل میکند به دو مرکب عمودی



$F = mg \sin \infty$  موازی  $F = mg \cos \infty$  عمودی

تجزیه می نمائیم. مرکب عمودی  $P = mg \cos \infty$   
 توسط عکس العمل سطح خنثی میگردد. و مرکب

$F = mg \sin \infty$  سبب حرکت جسم

روی سطح مایل میگردد. در صورتیکه اصطکاک سطح مایل کم باشد این یگانه قوه است که جسم را روی سطح

مایل تعمیل میدهند. بنا بر آن نظر به قانون دوم نیوتن خواهیم داشت.

$$mg \sin \alpha = ma$$

$$a = g \sin \alpha$$

رابطهٔ اخیر نشان میدهد که این شتاب به کندی جسم بستگی ندارد. یعنی هر جسمی که تحت اثر وزن خود روی یک سطح بدون اصطکاک حرکت میکند شتاب آن  $\propto \sin \theta$  میباشد. بناءً اگر

$\infty = 90^\circ$  باشد

چون ماشین بدون اصطکاک موجود نیست بنابراین مقدار کار توسط ماشین ضایع شده و به حرارت تبدیل میگردد. از این جهت در تمام ماشین ها مقدار کاری که به ماشین داده میشود نسبت به کارای که از ماشین گرفته میشود بیشتر است. کلمه موثریت برای یک ماشین عبارت از نسبت کار گرفته شده از یک ماشین و کار داده شده به آن ماشین میباشد.

$$\text{موثریت} = \frac{\text{کار گرفته شده}}{\text{کار داده شده}} = \frac{\text{Output} \cdot W}{\text{Input} \cdot W}$$

چون کار گرفته شده از یک ماشین نسبت به کار داده شده به آن ماشین کمتر است بنا بر آن موثریت هر نوع ماشین کمتر از یک بوده و به فیصد ارایه می گردد

**طور مثال :** اگر موثریت یک ماشین که یک لغت را بلند میکند  $75\%$  باشد این چنین معنی میدهد که  $75\%$  کار داده شده به ماشین در بلند کردن لغت مؤثر بوده و  $25\%$  آن توسط ماشین ضایع و به حرارت تبدیل شده است. برای

اینکه در این جا طاقت حقیقی این ماشین را پیدا کرده باشیم بهتر است کار  $75\%$  داده شده به ماشین مساوی به  $36,4 \text{ HP}$  باشد بنابراین

$$\frac{75x}{100} = 36,4 \text{ HP}$$

$$0,75x = 36,4 \text{ HP}$$

$$x = \frac{36,4}{0,75}$$

$$x = 48,5 \text{ HP}$$

چون قبلاً دیدیم که کار عبارت از  $F \times d$  و طاقت عبارت از کار اجرا شده در واحد

زمان است بناءً نوشته کرده میتوانیم ،

$$P = \frac{\text{کار}}{\text{وقت}} = \frac{f \times d}{t} = f \times \frac{d}{t} = f \times v$$

$$P = f \times v$$

سرعت  $\times$  قوه = طاقت

مثال: اگر یک موتور به طاقت 200 hp به سرعت 75 mil/hr حرکت نماید قوه اصطکاک آن به سهولت محاسبه شده میتواند. بنابر آن لازم است کمیت های فوق را به واحدهای اصلی تبدیل نمائیم

$$200 \text{ HP} = 200 \times 550 = 11 \times 10^4 \text{ ft} - \text{lb/sec}$$

$$75 \text{ mil/hr} = \frac{75 \times 5280}{3600 \text{ Sec}} = 110 \text{ ft/sec}$$

اگر این قیمت را در معادله  $P = F \times v$  وضع نمائیم داریم:

$$11 \times 10^4 \frac{\text{ft} - \text{lb}}{\text{sec}} = F \times \frac{110 \text{ ft}}{\text{sec}}$$

$$F = \frac{11 \times 10^4}{110} \text{ lb}$$

$$F = 10^3 \text{ Lb}$$

واحدهای طاقت در سیستم M, K, S  $\text{Joul/sec}$  بوده که کاشف آن James Watt می باشد یک  $\frac{\text{Joul}}{\text{Sec}}$  رایک وات میگویند. گرچه وات اکثرًا به حیث واحد انرژی حرارتی یاد می نماید ولی تعریف آن به هاس میخانیک شده است و مانند همه واحدهای میتوان آن را به حیث واحد تمام تغییرات انرژی استعمال کرد. طوری مثال میخواهیم طاقت یک شخص را که 75 kg کتله دارد در مدت 10 sec از یک زمین که 6 متر ارتفاع دارد بالای شود پیدا کنیم.

درین صورت وزن شخص مذکور عبارت است از :

$$W = mg$$

$$W = 75 \times 9,8$$

$$W = 735 \text{ nt}$$

به همین ترتیب کار اجبه‌اشده توسط این شخص عبارت است از :

$$\text{کار اجرا شده توسط شخص} = 735 \times 6 = 4410 \text{ Joul}$$

بنابر آن طاقت شخص مذکور معادل است به :

$$P = \frac{W}{t} = \frac{4410}{10} = 441 \text{ watt}$$

$$P = 441 \text{ watt}$$

#### 14-3 مومنتم :

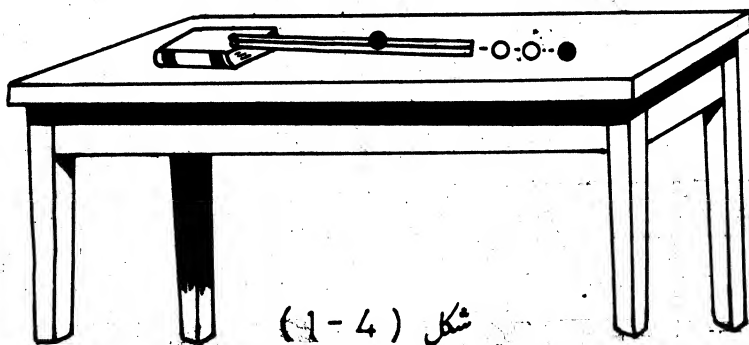
قبلاً مطالعه کردیم که انرژی حرکتی یک جسم به‌کند و سرعت آن جسم متعلق دارد. ولی کمیت دیگری کمیت آن از انرژی حرکتی کمتر نمی‌باشد مومنتم جسم است که از حاصل ضرب کند و سرعت جسم عبارت می‌باشد یعنی

$$M = mv \text{ مومنتم}$$

بعداً در نسبت اشتین خواهیم دید وقتی که سرعت یک جسم تغییر بکند آن نیز تغییر خواهد کرد. ولی این تغییر کند و سرعت مای کم قابل صرف نظر می‌باشد. اگر تصور کنیم که سرعت یک جسم از چند کیلومتر فی ساعت به‌سرعت درین حالت کند اهم را ثابت فرض کرده می‌توانیم. درین شرایط تغییر در سرعت تغییر در مومنتم را نشان می‌دهد و یا برعکس.

قبلاً در قانون دوم نیوتن دیدیم که  $F = ma$  است و گفتیم که تغییر اندازه سرعت در واحد

تجربه دوم ۱ حرکت های با سرعت ثابت را توسط تجربه ذیل نیز آرایه کرده می توانیم .  
دومید هم قطر و تجانس چوبی و یا فلزی را گرفته و به یک میل بالای میز مانند شکل ( ۴ - ۱ ) پهلوی یکدیگر قرار دهید .



شکل ( ۴ - ۱ )

بالای یک نقطه معین آن یک گلوله فلزی را قرار داده بگذارید که حرکت کند به مجرد سقوط از انجام های میله استپ  
واج را چالان و زمان مربوط فاصله  $x_1$  را یادداشت کنید ، همچنان تجربه را تکرار نموده و گلوله را از  
مکان ثابت قبلی روی میله که فلزی را نموده برای  $x$  های مختلف زمان های مربوط را پیدا  
یادداشت کنید . بعد از آن هر  $(x)$  را تقسیم زمان مربوطه اش نموده در نتیجه خواهیم دید که  
خارج قسمت مساوی و ثابت می باشد . این ثابت را سرعت  $V$  می نامند .

## ۵-۱ سرعت متوسط و سرعت لحظوی :

میدانید که خارج قسمت فاصله طی شده توسط یک متحرک و زمان مربوط آن را سرعت  
متوسط می گویند یعنی

$$\text{سرعت متوسط} = \frac{\text{فاصله طی شده}}{\text{زمان حرکت}}$$

این موضوع را به شکل دستیق تر مطالعه میکنیم . فرضاً یک متحرک ( موتور ) از مبدأ  $O$  یک خط  
مستقیم شروع به حرکت می نماید و در لحظه  $t_1$  از نقطه  $A$  و در لحظه  $t_2$  از نقطه  $B$  می گذرد  
اگر فاصله های  $A$  و  $B$  را با ترتیب از مبدأ  $(O)$  به  $x_1$  و  $x_2$  نشان دهیم

زمان عبارت از شتاب می باشد پس اگر عوض  $a$  تغییر سرعت در واحد وقت یعنی  $\frac{V_t - V_0}{t}$  را در قانون دوم وضع کنیم داریم

$$F = ma$$

$$F = m \frac{V_t - V_0}{t}$$

$$F \times t = m(V_t - V_0)$$

کمیت طرف چپ که حاصل ضرب قوه و زمان عمل آن می باشد عبارت از (Impulse) و کمیت طرف راست آن تغییر در مومنت می باشد.

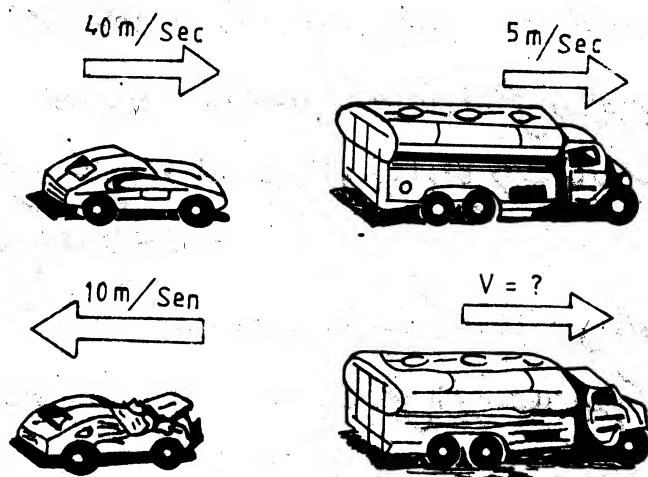
دو توپ بلیارد را دیده باشید وقتی که بالای هم روی یک میز لشم برخورد می نماید. بعد از برخورد برای مدت کوتاهی چلک شده و برای بازگشت خود برهمدیگر قوه داری کنند سرعت و سمت حرکت شان تغییر میکنند.

از روی قانون سوم نیوتن میدانیم که این دو قوه همیشه مساوی و زمان برخورد هر دو توپ نیز مساوی می باشد. بنابراین هر توپ زمان برخورد ضرب یا Impulse دارد که با ضرب توپ دیگر مساوی و مختلف جهت می باشد. زیرا که در امپلر و مومنت هم در مقدار و یکتوری در یک مکان ضرب شده از این جهت هر دو مقدار و کتوری می باشد. پس تغییر در مومنت یک توپ مساوی و مختلف جهت به تغییر مومنت در توپ دیگر می باشد اگر این تغییرات با هم جمع گردند مجموع شان صفر می گردد.

این حقیقت که مجموع فوق همیشه صفر است ما را به تعریف قانون ذیل آشنا می سازد. در هر تصادم در جسم مومنت مجموعی چشم تصادم کننده قبل از تصادم و بعد از تصادم با یکدیگر مساوی می باشد. طوری مثال یک موتور مربع را که کتله آن  $1000 \text{ kg}$  است به سرعت  $40 \text{ m/sec}$  به عقب یک لاری با کتله  $8000 \text{ kg}$  که با سرعت  $5 \text{ m/sec}$  هم جهت موتور مذکور در حرکت است تصادم می نماید و بعد از تصادم به سرعت  $10 \text{ m/sec}$  به طرف عقب حرکت می نماید. در این

صورت پنجم سرعت لاری را بعد از تصادم پیدا کنیم. میدانیم که مونتم قبل از تصادم و بعد از تصادم با هم مساوی است. اگر کتد موتور را  $m_1$  و سرعت آن را  $v_1$  و کتد لاری را  $m_2$  و سرعت آن را  $v_2$  بگوئیم. هم چنان اگر سرعت های موتور و لاری مذکور بعد از تصادم  $v'_1$  و  $v'_2$  باشد در آن صورت داریم

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2$$



شکل ( 8 - 3 )

$$1000 \times 40 + 8000 \times 5 = -1000 \times 10 + 8000 \times v'_2$$

$$80000 = -10000 + 8000 v'_2$$

$$90000 = 8000 v'_2$$

$$v'_2 = \frac{90000}{8000}$$

$$v'_2 = 11,25 \text{ m/sec}$$

اگر انرژی مجموعی حرکتی قبل از تصادم و بعد از تصادم را اندازه کنیم دیده می شود که یک مقدار انرژی حرکتی هنگام تصادم از بین رفته و سبب گرم شدن نقاط تصادم موتور و لاری گردیده است. تصادم ایکه در آن

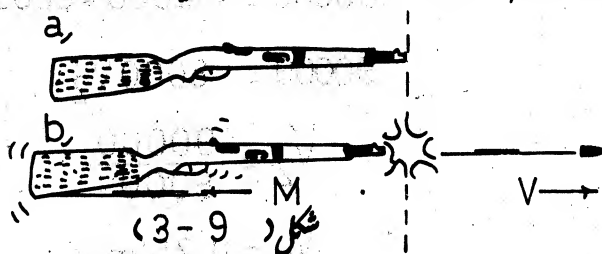
یک مقدار انرژی میخانیکی صنایع میشود بنام تصادم غیر ارتجاعی یاد میگردد. تصادم بین جسم معمولی تصادم ارتجاعی نباشد (تصادم ارتجاعی تصادم را میگویند که در آن انرژی مصرف نگردد). تصادم بین گلوله های فلزی و شیشه ای ارتجاعی است، گاهی که توپ گالفت به زمین به افتد قبل از استادن چند مرتبه بالا و پایین می افتد ولی در هر خیز زدن یک مقدار انرژی خود را از دست میدهد و در هر خیز زدن ارتفاع کمتر نسبت به پیشتر میگردد. از این نتیجه میشود که در تصادم به زمین یک مقدار انرژی خود را از دست میدهد. چون توپ هنگام تصادم به زمین آن قدر شکل خود را تغییر میدهد که جدارهای داخلی آن باهم برخورد میکنند بناء یک مقدار انرژی خود را به شکل حرارت هتایع میسازد.

### 15-3 حرکت یک راکت؛

قبل از آن که حرکت راکت را مطالعه نمایم حرکت یک مری را بعد از فیر توسط یک تفنگ مطالعه نمایم شکل (A 9-3)، تفنگ را قبل از فیر نشان میدهد که مومستم آن بدون شک صفر میباشد و چند ثانیه بعد مانند شکل (B 9-3)، مری 30 gr از دهن میل تفنگ به سرعت  $250 \text{ m/sec}$  می برآید. از این جهت به طرف راست مومستم ...

$$mv = 0.03 \text{ kg} \times 250 \text{ m/sec} = 7.5 \text{ kg m/sec}$$

$$mv = 30 \times 25000 = 7.5 \times 10^5 \text{ gr cm/sec}$$

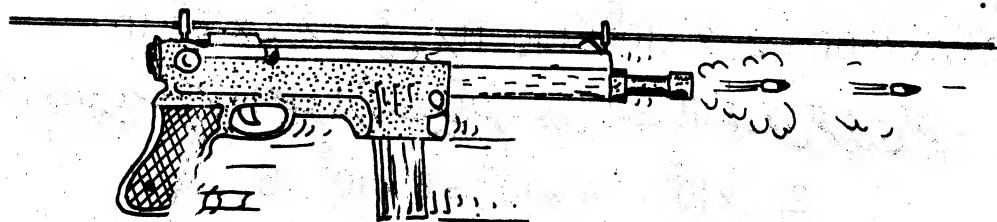


را می گیرد. برای اینکه مومستم مجموعی صفر گردد باید تفنگ به وزن 5 kg، مومستم

$$\frac{7.5}{5} \text{ kg m/sec} \text{ را به طرف چپ نیز داشته باشد بناء تفنگ باید به سرعت}$$

یا  $1.5 \text{ m/sec}$  به طرف چپ حرکت نماید که توسط شانه مجاهد به زودی از حرکت باز میماند

فرضاً یک تفنگ بالای یک کراچی بار شده و در یک دقیقه فی ثانیه یک فریمنیاید  
 درین وقت تفنگ درختم دقیقه مذکور بعد از فر 60 مری که هر کدام آن به تفنگ سرعت اضافی  $1,5 \frac{m}{sec}$   
 میدهد به سرعت  $90 \frac{m}{sec} = 1,5 \times 60$  حرکت خواهد کرد. حال اگر تفنگ (مدل کوپک راکت)،  
 میتواند که 30 gr آب، گاز گرم و یا کدام ماده دیگر را به سرعت  $250 \frac{m}{sec}$  از دهن میل  
 خارج سازد، درین صورت هم نتیجه فوق بدست میآید.



شکل (10-3)

طوری که قبلاً مطالعه نمودیم قوه ای که بدین طریق بدست میآید عبارت از تغییر مومنت  
 جسم بوده چون در مثال فوق 30 gr در سرعت تفنگ به اندازه  $250 \frac{m}{sec}$  تغییر میآورد  
 از این جهت تغییر مومنت  $0,03 \text{ kg} \times 250 \frac{m}{sec} = 7,5 \text{ kg m/sec}$  را بوجود  
 آورده است. در نتیجه قوه 7,5 nt بالای راکت عمل نموده و راکت 5 کیلوگرم  
 را تعبیل  $a = \frac{f}{m} = \frac{7,5}{5} = 1,5 \frac{m}{sec^2}$  و بعد از 60 ثانیه سرعت

$$V_t = at = 1,5 \times 60 = 90 \frac{m}{sec}$$

داده است که با نتیجه که قبلاً از فریک مری از میل تفنگ حساب شده بود مطابقت کامل دارد.  
 به عین ترتیب میتوان قوه ای را که سبب حرکت راکت های بزرگ و عصری به فضا میگردد  
 پیدا کرد. طوری مثال قوه که راکت را معده تمام مواد آن که دارای وزن  $1,4 \times 10^6 \text{ lb}$   
 بوده به فضا به حرکت میآورد و طبقه اول آن در سطح بحر برای شروع به حرکت 9400 lb  
 مواد جامد سوخت را در یک ثانیه برای گشتن سرعت  $7600 \frac{ft}{sec}$  به مصرف میرساند  
 (۷۳)

برای اینکه قوه را به پوند حساب کنیم لازم است تغییرات موضع را به Slug-ft/sec نشان

دهیم. پس 9400 lb مواد سوخت را به Slug تبدیل و یا به عبارت دیگر

9400 lb/sec را به g یعنی  $32 \text{ ft/sec}^2$  تقسیم مینماییم

$$9400 \text{ lb/sec} \cdot g = 292 \text{ Slug/sec}$$

از اینجا تغییرات مجموعی مومنت یا قوه که راکت را به طرف هوا پرتاب میکند مساوی است به :

$$292 \times 7600 = 2,2 \times 10^6 \text{ Slug ft/sec}^2 = 2,2 \times 10^6 \text{ lb}$$

اگر خواسته باشیم که قوه حاصل را بر راکت پیدا کنیم. وزن راکت را از قوه فوق تفریق می کنیم.

$$2,2 \times 10^6 - 1,4 \times 10^6 = 8 \times 10^5 \text{ lb}$$

این قوه راکت را به طرف بالا به شتاب a روان میکند که میتوان این شتاب را از رابطه ذیل پیدا کنیم.

$$a = \frac{f}{m} = 8 \times 10^5 / 1,4 \times 10^6 / 32,2$$

$$= 17,0 \text{ ft/sec}^2$$

$$= 0,53 (g)$$

مثال : یک ماشین دار ثقیل با کتد 500 kg یک مری 100 gr را به

سرعت  $100 \text{ m/sec}$  فیر میکند سرعت ماشین دار را به طرف عقب پیدا کنید.

a - وقتی که ماشین دار فیر نه شده باشد ماشین دار و مری هر دو در حالت سکون میباشد

b - وقتی که ماشین دار مری را فیر می نماید مری به طرف پیش حرکت می نماید

و ماشین دار به طرف عقب حرکت میکند که در اصطلاح ما آن را

پس لگد میگویند

$$M = 500 \text{ kg} \quad \text{کتله ماشین دا}$$

$$m = 100 \text{ gr} = \frac{1}{10} \text{ kg} \quad \text{کتله مری}$$

چون سرعت اولیه مری ماشین دار صفر است بناءً موضع اولی آن نیز مساوی صفر است.  
حال بیایید موضع بعد از فیر مری را محاسبه کنیم فرض میکنیم جهت حرکت مری در جهت مثبت انتخاب شده باشد هم چنان فرض میکنیم که حرکت مری ماشین دار روی یک خط مستقیم باشد.  
بناء بر آن موضع مری و تفنگ به شکل سکالری با هم جمع میشوند

$$\text{سرعت} \times \text{کتله} = \text{موضع مری}$$

$$\text{موضع مری} = \frac{1}{10} \text{ kg} \times 100 \text{ m/sec}$$

$$\text{موضع مری} = 10 \text{ nt} \times \text{sec}$$

اگر  $V$  سرعت ماشین دار بطرف عقب باشد در آن صورت

$$M \times V = \text{موضع ماشین دار}$$

$$= 500 \times V \text{ nt} \times \text{sec}$$

بناء بر آن موضع مجموعی سیستم بعد از فیر مساوی است به

$$10 + 500 V$$

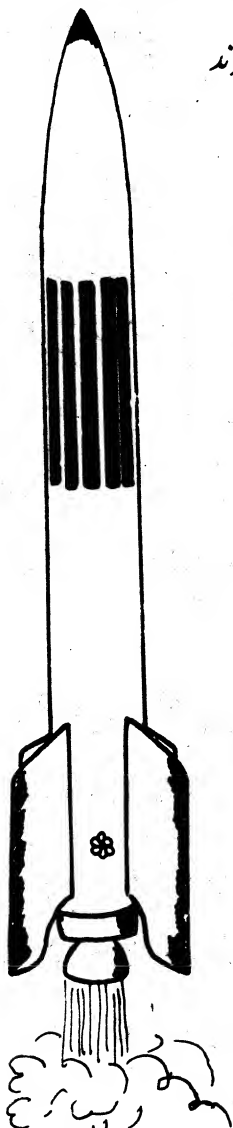
(موضع بعد از فیر مساوی است به موضع قبل از فیر)

$$10 + 500 V = 0$$

$$500 V = -10$$

$$V = -\frac{1}{50}$$

$$V = 0,02 \text{ m/sec}$$



شکل (11-3)

علامه منفی نشان میدهد که سرعت تفنگ مخالف جهت سرعت مرمی میباشد.  
 شکل (11-3)، یک راکت را نشان میدهد که از جیت آن گاز گرم به سرعت بسیار زیاد به یک جهت خارج می شود. قوه عکس العمل آن راکت را به جهت دیگر در حرکت میآورد.

## تمرینات فصل سوم

- مسئلات ذیل را کامل نمائید.
- ۱- اگر قوه  $F$  با تغییر مکان  $(\quad)$  زاویه  $\theta$  را بساد در آن صورت مقدار  $(\quad)$  از حاصل ضرب آن مرکب به قوه  $F$  که به امتداد  $(\quad)$  میباشد در بدست میآید.
  - ۲- انرژی حرکتی یک جسم به دو فکتور تعلق میگیرد یکی  $(\quad)$  و دیگری  $(\quad)$  جسم
  - ۳- واحدهای کار و انرژی در سیستم  $M, K, S$  عبارت از  $(\quad)$  و در سیستم  $C, G, S$  عبارت از  $(\quad)$  میباشد.
  - ۴- مرکب افقی قوه روی سطح مایل  $(\quad)$  و مرکب عمودی روی سطح مایل  $(\quad)$  میباشد.

## گروه سوالات صحیح و غلط:

- ۱- اگر جهت قوه عامل با تغییر مکان جسم زاویه  $\infty$  را می سازد کار اجرا شده توسط یک جسم توسط یکی از رابطهای ذیل پیدای شود.

$$W = F \times d \cos \infty - c$$

$$W = F \cdot d \sin \infty - a$$

$$d - \text{حرسه رابط در دست اند}$$

$$W = f \cdot d - b$$

۲- کار قوه اصطکاک از رابطه ذیل پدای شود.

$$W_{fr} = fr \cdot \sin \infty \cdot d \quad -c \quad W_{fr} = f \cdot d \quad -a$$

$$W = fr \cdot \cos \infty \cdot d \quad -d \quad W_{fr} = MNd \quad -b$$

۳- فورمول انرژی حرکتی یکی از روابط ذیل را صدق میکند.

$$E_k = F \cdot d \quad -c \quad E_k = mgh \quad -a$$

$$E_k = F \cdot d \cos \infty \quad -d \quad E = \frac{1}{2} mv^2 \quad -b$$

۴- معادله ذیل معادله برنولی را ارایه میکند.

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = -P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad -c \quad P + \frac{1}{2} \rho v^2 + pgh = \text{Contant} \quad -a$$

$$P_1 - \frac{1}{2} \rho v^2 = p - \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad -d \quad P - \frac{1}{2} \rho v^2 - pgh = \text{Cont} \quad -b$$

### سوالات تشریحی :

۱- انرژی حرکتی را تعریف کنید.

۲- انرژی پوتنشیل را تعریف نمایید.

۳- قانون برنولی کدام حادثه فیزیکی را تشریح میکند؟

۴- سطح مایل کدام نوع از ماشین ها بوده و وزن یک جسم روی آن کدام دو ترکیب تجزیه میشود

تشریح کنید.

### سوالات محاسباتی :

۱- برای حرکت یک موتور روی یک سطح افقی با سرعت ثابت به 100nt قوه ضرورت

است مقدار کار را پیدا کنید که برای رساندن موتور به فاصله 500m بکار است.

۲- در یک لایر اتوار دو سنگی به اوزان 30nt و 40nt روی الحاری های کتبرتب

2m و 4m ارتفاع دارند گذاشته شده اند. اگر سطح لایر اتوار صفر انتخاب شود انرژی

پوشش کدام یکی از این سنگ ها بیشتر است .

۳- برای بلند کردن کتله  $80 \text{ kg}$  به ارتفاع  $40 \text{ m}$  چقدر کار لازم است .

۴- یک شخص به کتله  $24 \text{ kg}$  از شیب ایکه ارتفاع آن  $3 \text{ m}$  است به طرف پایین می

لغزد اگر سرعت آن در اخیر شیب  $6 \text{ m/sec}$  باشد چقدر انرژی پوشش آن توسط اصطکاک

به حرارت تبدیل شده است . (  $273,6 \text{ JOULES}$  )

۵- مقطع بزرگ و کوچک یک نل کاملاً افقی با ترتیب  $10 \text{ cm}^2$  و  $5 \text{ cm}^2$  میباشد

هرگاه سرعت آب در مقطع بزرگ  $30 \text{ cm/sec}$  باشد تفاوت فشار بین مقطع ها

بزرگ و کوچک نل را پیدا کنید .

جواب  $1,35 \times 10^3 \text{ dynes/cm}^2$

۶- تیلی به کثافت  $0,9 \text{ gr/cm}^3$  از نلی که مقطع بزرگ آن  $30 \text{ cm}^2$  و مقطع کوچک

آن  $10 \text{ cm}^2$  است جریان دارد هرگاه یک فشار سیخ تفاوت فشار بین این دو سطح

مقطع را  $3000 \text{ dynes/cm}^2$  نشان دهد سرعت عبور تیل را از نل مذکور به

$\text{cm/sec}$  حساب کنید .

جواب  $(866 \text{ cm}^3/\text{sec})$

۷- یک تانک آب به ظرفیت  $10 \text{ m}^3$  بالای بام به ارتفاع  $20 \text{ m}$  قرار دارد هرگاه تانک

مذکور توسط پمپ در ظرف  $20$  دقیقه پر گردد در آن وقت پمپ را به وات دریافت کنید در حالیکه

موثریت پمپ مذکور  $100\%$  فرض شود . جواب (  $1633 \text{ watt}$  ) .

۸- یک وزن  $800$  نیوتن به ارتفاع  $35 \text{ m}$  متر در  $3$  دقیقه بلند گردیده در آن وقت ماشین را

راکه این مقدار کار را انجام داده است به وات حساب کنید در حالیکه موثریت کار

$100\%$  ،  $75\%$  باشد . جواب (  $1,555 \times 10^2 \text{ watt}$  ،  $207,4 \text{ watt}$  )

# فصل چهارم

## میانیک دورانی

### 1 - 4 حرکت بر مسیر دایره :

یکی از حرکت های مهم حرکت یک جسم با سرعت ثابت بروی محیط دایره است نمونه ای بسیار ازین نوع حرکت در زندگی روزمره مشاهده می نمائید . بطور مثال حرکت همتاب و بعضی از سیارات دیگر تقریباً ازین نوع حرکت میباشند

### 2 - 4 حرکت یکنواخت بروی مسیر دایره :

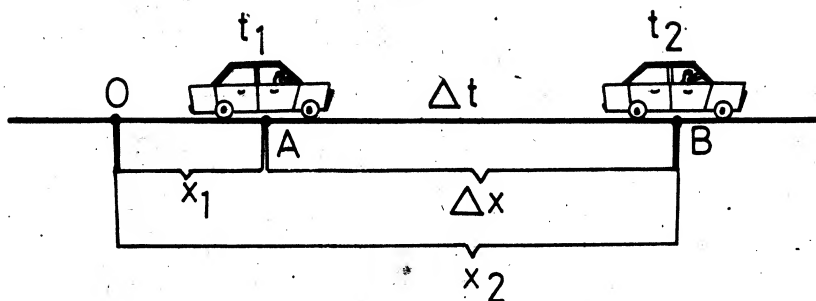
وقتی که یک جسم کوچک و یا یک ذره روی یک مسیر دایروی به دور یک نقطه ثابت حرکت میکند جهت سرعت آن همیشه تغییری نماید . ولی ممکن است اندازه سرعت آن تغییر نکند و ثابت بماند . اگر در حرکت دوی مسیر دایره سرعت متحرک ثابت بماند چنین حرکت را حرکت یکنواخت بر مسیر دایره می نامند .

حرکت یکنواخت بر مسیر دایره را میتوان بوسیله شعاع دایره و سرعت متحرک بروی این دایره جسم نمود ولی اگر حرکت بطور منظم تکرار شود به جای این سرعت تعداد دور متحرک در واحد زمان و یا زمان لازم برای پیچیدن یک دور کامل را که اندازه گیری آنها آسانتر است میتوان در نظر گیریم .  
تعداد دور های کامل را که متحرک در واحد زمان می پیماید نسبته یکنوسی حرکت می نامند و آنرا به  $n$

نشان می دهیم .

و فاصله که متحرک بین نقاط A و B می پیماید  $\Delta x$  باشد در آن صورت

$$\Delta x = x_2 - x_1$$



شکل ( 5 - 1 )

زمان مربوط به این فاصله را به  $\Delta t = t_2 - t_1$  نشان می دهیم بنابراین سرعت

متحرک بین نقاط A و B طوری ذیل حساب میشود.

$$v_{av} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \dots \dots \dots 1$$

در اکثر موارد مبدأ حرکت طوری انتخاب میشود که  $x_1 = 0$  می باشد درین صورت  $t_1 = 0$

بوده و رابط ( 1 ) شکل ذیل را میگیرد.

$$\bar{v} = \frac{x}{t} \text{ یا } x = \bar{v} t$$

سرعت متوسط نمیتواند معلومات کامل را راجع به تغییرات سرعت در طول راه پیموده شده ارایه کند

طور مثال یک موتور وقتی که از ایستگاه اولی خود شروع به حرکت میکند سرعتش خیلی کم میباشد اگر یک

شخص از پی آن بدو ممکن است موتور را بگیرد ولی بعد از آن سرعت موتور زیاد شده و در نزدیکی توقفگاه

دوم سرعت آن دوباره کم میگردد. تا اینکه موتور در ایستگاه دوم می ایستد. در حالیکه سرعت متوسط هیچ معلوما

راجع به این سرعت های مختلف ارایه کرده نمیتواند. تشریحات مفصل راجع به حرکت موتور میتواند با د نظر داشت

فواصل کوچک در زمان های کوچک ارایه شود. فرضاً شخص در موتور نشسته و زمان های مربوط هر کیلومتر

تعداد دور کامل در واحد زمان  $n$

زمانی یک دور کامل متحرک را زمان پرپور یا زمان تناوب می‌نامند و به  $T$  نشان می‌دهند

زمان یک دور کامل متحرک روی مسیر دایره  $T =$

رابطه بین  $n$  و  $T$  قرار ذیل می‌باشد:

$$n = \frac{1}{T} \text{ و } T = \frac{1}{n} \dots\dots\dots ①$$

پریود حرکت را می‌توان بر حسب ثانیه، دقیقه، روز و یا سال و یا هر واحد دیگر زمان بیان کرد. در جدول ذیل زمان پریود فریکوئسی یک متحرک داده شده است.

مقایسه حدود فریکوئسی و زمان تناوب

متحرک	پریود $T$	فریکوئسی
الکترون در اتم یا در جن طبق فرضیه بور	$10^{-17}$ ثانیه	$10^{17}$ بر ثانیه
سنتز یفوز بسیار سریع	$2,2 \times 10^{-4}$ ثانیه	3000 دور بر ثانیه
توربین آبی برای تولید برق	0,33 ثانیه	3 دور فی ثانیه
زمین بدور خود	24 ساعت	$7 \times 10^{-4}$ دور فی دقیقه
هفتاب بدور زمین	27,3 روز	$1,5 \times 10^{-3}$ دور فی ساعت
زمین بدور آفتاب	365,25 روز	$2,1 \times 10^{-3}$ دور فی روز

چون سرعت عبارت از حاصل تقسیم فاصله طی شده بر واحد زمان است لذا:

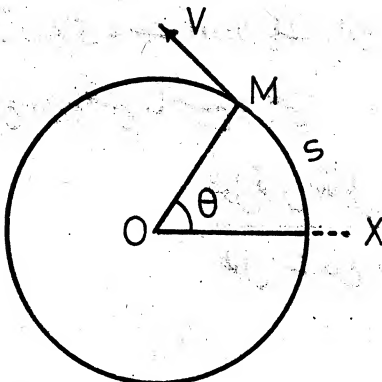
$$v = \frac{2 \pi R}{T} = 2 \pi R n \dots\dots\dots 2$$

اگر حرکت متحرک یک‌نواخت باشد  $v$  در رابطه (2)، هم تعیین کننده سرعت لحظوی و هم

معرف سرعت متوسط می باشد.

### 4-3 سرعت زاویوی :

فرضاً یک متحرک  $M$  روی یک مسیر دایروی با مرکز  $(O)$ ، و شعاع  $OM$  به سرعت ثابت



شکل (1-4)

در حرکت است. سرعت زاویوی متحرک بنا

بر تعریف عبارت از زاویه است که توسط

شعاع  $OM$  در واحد زمان طی شده باشد.

یا به عبارت دیگر سرعت زاویوی برابر

زاویه مرکزی مقابل قوسی از دایره است

که متحرک آن را در واحد زمان می پیماید

$$\text{سرعت زاویوی} = \frac{\text{زاویه پیموده شده}}{\text{زمان حرکت}}$$

اگر حرکت بر مسیر دایره یکپارچه باشد سرعت زاویوی نیز ثابت است.

سرعت زاویوی را به  $\omega$  نمایش می دهند اگر  $\theta$  زاویه پیموده شده در زمان  $t$  باشد در آن

صورت داریم :

$$\omega = \frac{\theta}{t} \dots \dots \dots 3$$

زاویه  $\theta$  را به رادیان Rad اندازه می کنند بنابراین سرعت زاویوی  $\omega$  را به

$\left( \frac{\text{Rad}}{\text{Sec}} \right)$  اندازه می نمایند.

رادیان چنانکه میدانید اندازه زاویه مرکزی مقابل قوس از دایره است که طول آن مساوی

به شعاع  $(R)$  همان دایره باشد چون محیط دایره  $2\pi R$  یا  $2\pi$  شعاع دایره است

پس زاویه مقابل تمام محیط دایره  $2\pi$  رادیان می باشد. داریم

$$2\pi \text{ rad} = 360^\circ$$

چون  $\pi = 3,1416$  است و اندازه یک Radian بر حسب درجه برابر است به

$$\text{Rad} = \frac{360^\circ}{2\pi} = \frac{360}{2 \times 3,1416} = 57,296 \approx 57,3$$

بنابر آن برای بدست آوردن یک زاویه بر حسب Rad کافی است طول قوس مقابل آنرا به شعاع دایره تقسیم نمائیم - یعنی :

$$\text{زاویه بر حسب رادیان} = \frac{\text{طول قوس مقابل زاویه}}{\text{طول شعاع دایره}}$$

$$\theta(\text{Rad}) = \frac{S}{R} \dots\dots\dots 4$$

از این رابطه طول قوس مقابل را پیدا کرده میتوانیم

$$S = R\theta \dots\dots\dots 5$$

با استفاده از روابط  $\omega = \frac{\theta}{t}$  و  $S = R \cdot \theta$  میتوان سرعت متحرک در هر نقطه

از مسیر و یا به عبارت دیگر سرعت خطی یک متحرک را بر حسب سرعت زاویوی آن پیدا کرد .

$$V = \frac{s}{t} = \frac{R\theta}{t} = R \frac{\theta}{t}$$

$$V = R \omega \dots\dots\dots 6$$

از مقایسه روابط 2 و 6  $V = R \omega$  داریم

$$R\omega = 2\pi Rn$$

$$\omega = 2\pi n$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \dots\dots\dots 7$$

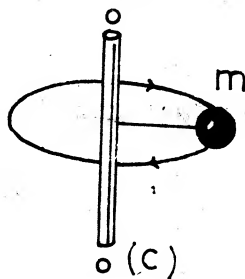
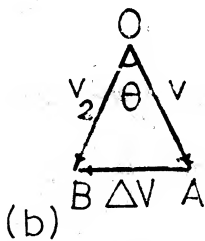
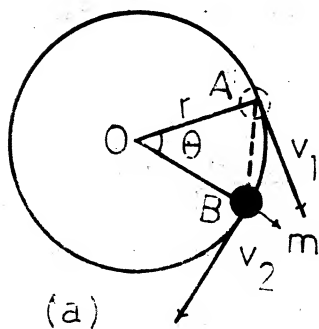
**سوال :** اگر سرعت لخطی مشتق فاصله نظر به زمان باشد چگونه میتوانیم با عمل

مشتق رابطه  $V = R\omega$  را بدست آورد ؟

4-4 : **تعمیل وقوه جذب به مرکز :**

تا حال سرعت را به حیث یک کمیت ویکتوری تعمیم رانها تغییر در تیزی جسم مطالوع کردیم ولی به خاطر باید داشت که یک ویکتور در صورت تغییر جهت نیز تغییر کرده میتواند .

شکل (4-2a) چنین یک حالت را نشان میدهد . در اینجا یک کتله در انجام یک میل بدون وزن بطول  $r$  که به اطراف محور  $OO$  به سرعت ثابت دوران میکند وصل شده است شکل (4-2a) تصویر از حرکت کتله  $m$  میباشد که از طرف بالا به آن دیده میشود فرض می کنیم که جسم مذکور از نقطه  $A$  به  $B$  به اندازه زاویه  $\theta$  در زمان  $t$  تغییر مکان کرده سرعت آن در خلال این مدت از  $V$  به  $V'$  برسد در اینجا تغییر در سرعت جسم از سبب تغییر در جهت آن میباشد زیرا تیزی جسم ثابت بوده بنابراین طول وکتور ثابت باقی مانده مانند شکل (4-2b) تعیین گرافیکی تغییر در سرعت را نشان میدهد . هرگاه سرعت های  $\Delta V$  و  $V$  جمع شوند سرعت  $V'$  بدست می آید .



شکل (4-2ab)

بنابر آن  $\Delta V$  تغییر در سرعت را در زمان  $t$  ارایه میدهد .

دیده می شود که مثلث  $OAB$  با مثلث که از ویکتورهای  $V$ ،  $V'$  و  $\Delta V$  تشکیل میگردد مشابه ( زیرا مثلثات متساوی الساقین و عین زوایا  $\theta$  را دارند) بنابراین اضلاع شان به ترتیب

متناسب اند لذا :

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{AB}{r} = \frac{Vt}{r}$$

$$\Delta V = \frac{V^2 \cdot t}{r}$$

از مشخصات  $V$  در اینجا صرف نظر شده زیرا طول  $V$  و  $V'$  با هم مساوی اند و ما آنها به مقادیر آنها سرکار داریم نه جهت شان بنابراین ضرورت به تشخیص آنها از همدیگر نیست ،

شتاب  $a$  را شتاب تغییر در سرعت تعریف کردیم

چون تغییر  $\Delta V$  در زمان  $t$  صورت گرفته بنا

بر آن اندازه تغییر سرعت را میتوان از رابطه ذیل

بدست آورد .

$$a = \frac{\Delta V}{t}$$

چون  $\Delta V = \frac{V^2 t}{r}$  است بنابراین داریم

$$a = \frac{V^2}{r}$$

شکل (3-4)

در بعضی از مسائل ممکن خیلی آسان باشد اگر عوض سرعت خطی  $V$  از سرعت زاویوی  $\omega$  ،

کار گرفت بنابراین اگر در معادله اخیر  $V$  را به  $\omega$  عوض کنیم داریم .

$$a = r \omega^2$$

از آن جائیکه  $a$  یک کمیت وکتوری است بنابراین باید جهت آنرا نیز تعیین نمایم .

هرگاه در شکل (2b-4) زمان  $t$  در نتیجه زاویه  $\theta$  را کوچک ساخته بروم

بالا خرد  $V$  و  $V'$  با هم موازی گردیده  $\Delta V$  به هر کدام از آنها و یا هر دوی آنها عمود میگردد

لذا  $\Delta V$  و بناؤ  $a$  در داخل دایره به طرف مرکز میباشد .

چون شتاب بدون قوهٔ ایکوزاباعت میشود وجود داشته نمیتواند. لذا در نظر اول دیده  
 میتوانیم که شتاب حاصل از کنتهٔ  $m$  به جهت مرکز دایره توسط قوهٔ ثابت کشش میل که کنته  
 مذکور به انجام آن وصل گردیده است به وجود آمده است. قوهٔ ایکه میل بر کنته  $m$  وارد می نماید  
 بنام قوهٔ جذب به مرکز یادی گردد. هم چنان در اینجا قوهٔ دیگری مساوی و مختلف البهت  
 به قوهٔ فوق از طرف کنته  $m$  بالای میل عمل میکند که بنام قوهٔ فرار از مرکز موسوم می باشد.  
 مقدار این قوه ما را میتوان از قانون دوم نیوتن بدست آورد :

$$F = ma$$

$$a = \frac{v^2}{r} \quad \text{چون}$$

$$F = m \frac{v^2}{r} \quad \text{بناءً}$$

$$F = mr\omega^2$$

بطور مثال : طفل دستگیر دروازه را به انجام یک تار بطول 60cm بسته در نظر میگیریم اگر وی  
 دستگیر را در یک سطح عمودی به اطراف یک دایره بچرخاند میخواهیم تعداد دور فی دقیقه را برای اینکه تا  
 هنگام دوران در بلندترین حصه دایره از عاقل شدن بازمی ماند دریافت نماییم. هرگاه کنته  
 دستگیر را  $gm$  گرام قبول کنیم در هر نقطه از دایره دستگیر یک قوه کشش به مرکز مساوی

$$mr\omega^2 = 60m\omega^2$$

را ضرورت دارد. تا آنرا روی مسیر منحنی آن بالای یک دایره نگه دارد در بلندترین حصه دایره  
 کشش  $mg$  مستقیماً به طرف مرکز دایره عمل مینماید بنابراین اگر قوه  $mg$  از قوه جذب به مرکز  $mr\omega^2$   
 بزرگتر باشد.

دستگیر از روی مسیر دایره یا منحنی خویش به طرف داخل دایره کش گردیده و بنا بر آن تا عاقل

میگردد. کوچکترین سرعت ممکنه که تار را از عاقل بودن باز میدارد وقتی است که:

$$mg = mr\omega^2$$

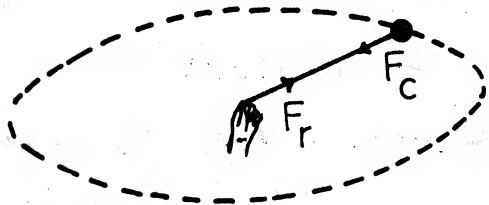
$$g = r\omega^2$$

$$\omega^2 = \frac{g}{r}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{r}}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{980}{60}}$$

$$\omega = 4,04 \text{ rad/Sec} \quad (4-4)$$



میدانید که  $2\pi \text{ Rad} = 1 \text{ Rev}$  و  $1 \text{ min} = 60 \text{ Sec}$  است بنابراین برای تبدیل نتیجه حاصل به  $\text{Rev/Sec}$  مینویسیم:

$$4,04 \text{ Rad/Sec} \times \frac{1 \text{ Rev}}{2\pi \text{ Rad}} \times \frac{60 \text{ Sec}}{1 \text{ min}} = 38,6 \text{ Rev/min}$$

چون کتله دستگیر (m) در معادله دخیل نیست لذا معادله فوق برای تمام جسام با کتلهای مختلف قابل تطبیق است

مثال: توپی با کتله m به انجام یک تار بسته شده و روی دایره عمودی با شعاع ۲ به سرعت ثابت دوران می نماید کیش تار در حالت ذیل دریافت نمایند.

a - بلندترین نقطه

b - پایینترین نقطه

حل

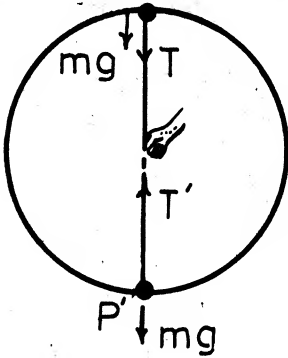
a - وقتی که توپ روی مسیر دایره باقی می ماند باید قوه محصله مسادی به قوه جذب به مرکز باشد قوه های عامل بالای توپ در نقطه اعظمی

عبارت انداز

I : وزن توپ که بطرف پائین جهت دارد.

II : کشش تار (T) که به طرف پائین است.

پس باید مجموعه هر دو قوه فوق مسادی به قوه جذب به مرکز باشد.



شکل ( 5 - 4 )

$$T + mg = \frac{mv^2}{r}$$

$$T = m \left( \frac{v^2}{r} - g \right)$$

اگر  $\frac{v^2}{r} = g$  باشد کشش T در تار مسادی به صفر میگردد و توپ از نقطه P میگذرد اگر  $\frac{v^2}{r} < g$  باشد درین صورت توپ عموداً سقوط خواهد کرد.

b - وقتی که توپ در پائین ترین نقطه قرار داشته باشد در نقطه (P') قوه محصله عبارت خواهد بود از (T')

$$T' - mg = \frac{mv^2}{r}$$

$$T' = m \left( \frac{v^2}{r} + g \right)$$

## 5-4 دوران یک جسم سخت :

در درس های گذشته مطالعه نمودیم که یکی از مشخصات اجسام عطالت آنهاست.

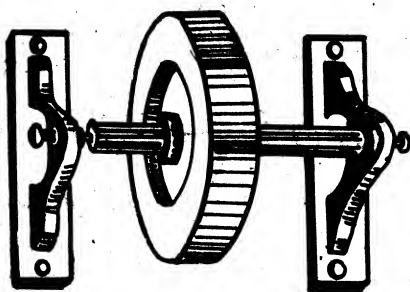
با در نظر داشت این خاصیت عطالتی جسم یک قوه لازم است تا بالای یک جسم عمل نماید و آن را از سکون بکشد. مشابه آن اگر جسمی قبلاً در حرکت باشد برای آن یک قوه و یا عامل ضرورت است تا سرعت آن را تغییر دهد. قبلاً مطالعه کردیم که گند یک جسم مستقیماً از عطالت آن اندازه شده میتواند. در اینجا خواهیم دید که همه جسم که دوران مینمایند دارای خاصیت عطالتی میباشد. اگر یک قرص مانند شکل پایین به حرکت آورده شود و برای یک مدت بدوران خود ادامه دهد متجارب نشان میدهند که یک قوه باید آزا به سکون آورد. تمام جسم دوران کننده عطالت را دارا میباشد که بنام عطالت دورانی یا مومننت دورانی یاد میگردد.

قانون دوم نیوتن بیان میدارد که قوه  $a$  یک جسم را به حرکت خطی میآورد عبارت است

از :

$$F = ma$$

قبلاً دیدیم که مانند معادلات حرکت خطی در حرکت های دورانی معادلات مشابه وجود دارد



(4 - 6)

بناء با در نظر داشت قانون دوم نیوتن اگر تعجیل خطی  $a$  را به تعجیل زاویوی  $\alpha$  عوض کنیم چون قوه سبب تعجیل خطی و ترک سبب دوران میگردد. بناء قوه میتواند به ترک در حرکت دورانی عوض شود. این مقادیر نیز به گند  $m$  جسم تعلق دارد. زیرا بدوران

آوردن یک جسم سنگین مشکلتر نسبت به یک جسم سبک میباشد.

4-6 ترک و تعجیل زاویوی :

برای دریافت رابطه بین ترک  $\alpha$  و تعجیل زاویوی  $\alpha$  حرکت یک جسم ساده

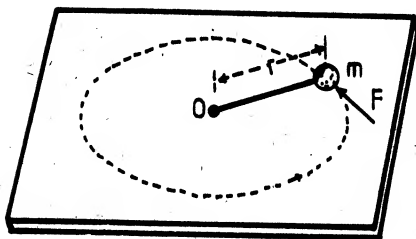
امطابق شکل ذیل در نظری گیریم . در اینجا یک جسم کوچک با کتله  $m$  که توسط یک میله با طول  $r$  گرفته شده و حول نقطه  $O$  دوران می نماید . وزن میله قابل صرف نظر و محور دورانی  $O$  بی اصطکاک فرض شده است فرضاً این سیستم در یک مستوی افقی دوران می نماید .  
حال اگر یک قوه  $F$  بالای کتله  $m$  به شکل عمودی بر میله عمل کند به آن تعجیل خطی می دهیم که توسط معادله ذیل ارتباط قوه و تعجیل به هماس قانون دوم نیوتن برقرار میگردد .

$$F = ma \quad \dots\dots\dots (1)$$

در اینجا قوه  $F$  سبب دوران جسم  $m$  حول نقطه  $O$  میگردد .

ترک لازم که کتله  $m$  را حول نقطه  $O$

میچرخاند چنین است .



(4 - 7)

$$\tau = F \times r \quad \dots\dots\dots (2)$$

یعنی قوه عمودی  $F$  ضرب در فاصله بین کتله  $m$  و محور دوران  $O$  ، را ترک می گویند .

با گذاشتن قیمت  $F$  در رابطه ( 2 ) داریم

$$\tau = mar$$

چون رابطه بین تعجیل خطی و تعجیل زاویوی طوری ذیل است .

$$a = r \cdot \alpha$$

با گذاشتن قیمت  $a$  در رابطه ( 2 ) داریم

$$\tau = mr\alpha \times r$$

$$\tau = m\alpha r^2 \quad \dots\dots\dots 3$$

در نتیجه میتوان گفت که رابطه ( 3 ) به معادله  $F = ma$  مشابهت دارد . طوریکه

فاصله را که توسط موتور طی میشود یادداشت میکنند. مشاهدات آن در جدول ذیل داده شده.

ایستادگاه	فاصله به کیلومتر	زمان به دقیقه
ایستادگاه A	0	0
	1	4
	2	7
	3	9
	4	11
	5	14
ایستادگاه B	6	18

مشاهدات شخص مذکور در شکل (6-1)، طوریکه زمان بر روی محور X و فاصله بر روی محور Y درج است نشان داده شده است.

از جدول سرعت های موتور در فواصل مختلف تعیین شده میتواند. فرض میکنیم سرعت موتور در انجام دقیقه نهم تعیین شده است. برای تعیین مقدار این سرعت یک فاصله کوچک زمان مثلاً نیم دقیقه بعد از دقیقه نهم را در نظر میگیریم.

به سبب سهولت میتوان در یک مقدار فشرده تریزاید را به حرف یونانی ( $\Delta$ ) بنویسیم با قبول این قرارداد میتوان تریزاید زمان را در مثال فوق به  $\Delta t = \frac{1}{2} \text{ min}$  در پیروی دقیقه نهم طوریکه در شکل (6-1) دید میشود قبول کرد.

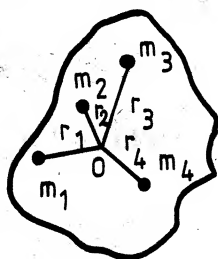
چون زمان  $\Delta t$  خیلی کوچک است بنا بر آن فاصله که توسط موتور در این وقفه طی میشود سینر کوچک و مساوی به  $\Delta s$  میباشد مقدار  $\Delta s$  که از گراف حاصل شد  $\frac{1}{4}$  کیلومتر میباشد.

لذا سرعت متوسط متحرک در فاصله زمانی نیم دقیقه بعد از دقیقه نهم عبارتست از:

ج به  $F$ ،  $a$  به  $\infty$  و  $m$  به  $mr^2$  عوض شده است. حاصل ضرب  $mr^2$  را مومنٹ عطاالت میگویند و آن را به  $I$  نشان میدهند. بنابراین رابط (3)، شکل زیر را میگیرد.

$$\tau = I\alpha$$

تا حال ما ترک یک کتله کوچک منفرد را دریافت نمودیم ولی در عمل ما به دوران یک جسم سخت مانند سلندر، کره، میل سخت و غیره سروکار خواهیم داشت. بنا بر این بیایید ترک برای هر نوع جسم را بصورت عمومی دریافت نمائیم. شکل (8-4)، را در نظر بگیرید که حول نقطه  $O$  در حرکت میباشد. فرضاً این جسم چند کتله کوچک  $m_1$ ،



(8-4)

$m_2$  و  $m_3 \dots m_n$  که به فاصله های

$r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$  از محور

دوران واقع اند ساخته شده است. و تنها

چار نقطه آن در شکل نشان داده شده نظر به کتله  $m_1$  آن داریم:

$$\tau_1 = m_1 r_1^2 \alpha = \tau_1 = m_1 r_1^2 \alpha$$

$$\tau_2 = m_2 r_2^2 \alpha = \tau_2 = m_2 r_2^2 \alpha$$

به همین ترتیب برای کتله های دیگر معادلات مشابه معادله های فوق را میتوان نوشت و ترک مجموعی

را بشکل  $\sum_{i=1}^n \tau_i$  پیدا کرد.

$$\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \dots + \tau_n = m_1 r_1^2 \alpha + m_2 r_2^2 \alpha + \dots + m_n r_n^2 \alpha \dots 4$$

$$\sum_{i=1}^n \tau_i = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \alpha \dots 5$$

مجموعه عدود را نشان میدهد.

اگر جسم مورد نظر یک جسم سخت باشد سرعت و تعجیل تمام نقاط این جسم با هم مساوی میباشند بنا بر آن تعجیل زاویوی ( $\alpha$ ) در معادله (4):

تجیل زاویوی ( ۶ ) در معادله ( ۵ ) میباشد . پس رابطه ( ۵ ) را میتوان طور ذیل نیز نوشت .

$$I = \sum_{i=1}^n (m_i r_i^2) \quad \dots \dots \dots 6$$

Moment of inertia  $m_i r_i^2$  در طرف راست معادله ( ۶ ) بنام مومنت عطالت یک جسم سخت به حول محور دوران یادی گردد و توسط  $I$  نشان داده می شود .

$$I = \sum_{i=1}^{i=n} m_i r_i^2$$

پس داریم

$$I = I \quad \dots \dots \dots 7$$

معادله ( ۷ ) ترک عامل بر جسم را میدهد که آن جسم تحت تاثیر این ترک مومنت عطالت و سرعت زاویوی  $\omega$  را حاصل میدارد .

#### ۷-۴ مومنت عطالت :

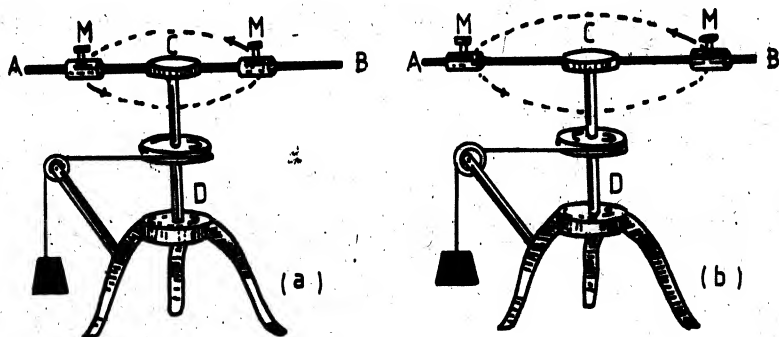
میدانیم که مومنت عطالت از معادله ذیل بدست می آید .

$$I = \sum_{i=1}^{i=n} m_i r_i^2 \quad \dots \dots \dots 8$$

مومنت عطالت در حرکت های دورانی مفهوم را ارایه میکند که کتده در حرکت های مستقیم الخط ارایه میدارد و هم چنان از معادله ( ۸ ) مومنت عطالت مربوط به کتده و توزیع کتده در جسم نسبت به محور دوران میباشد .

تعلق مومنت عطالت با کتده را میتوان به شکل تجربی به سهولت پیدا کرد . بیایید تجربه ذیل را اجرا نماییم . در شکل ( ۹-۴ ) مومنت عطالت به نسبت توزیع کتده آن نظریه

محور دوران نشان داده شده در اینجا دوگتده مسادی  $M$  بدو طرف محور دوران روی یک میل  $AB$  دوران کننده گذاشته شده و حول محور  $CD$  مانند شکل پائین دوران مینماید. اگر گتده های مذکور به فاصله های کوچک از هم واقع شده باشند در آن صورت تعجیل زاویوی آن بیشتر میباشد مانند شکل (4-9a)، اما اگر گتده از هم دیگر دورتر واقع باشند در آن صورت مومنت عطالت آن زیاد و سرعت آن نسبت به حالت پیشتر کمتر میباشد مانند شکل (4-9b)، درحالیکه ترک  $\gamma$  در هر دو حالت با هم مسادی و به اندازه  $\gamma = 1\infty$  میباشد.



(4-9ab)

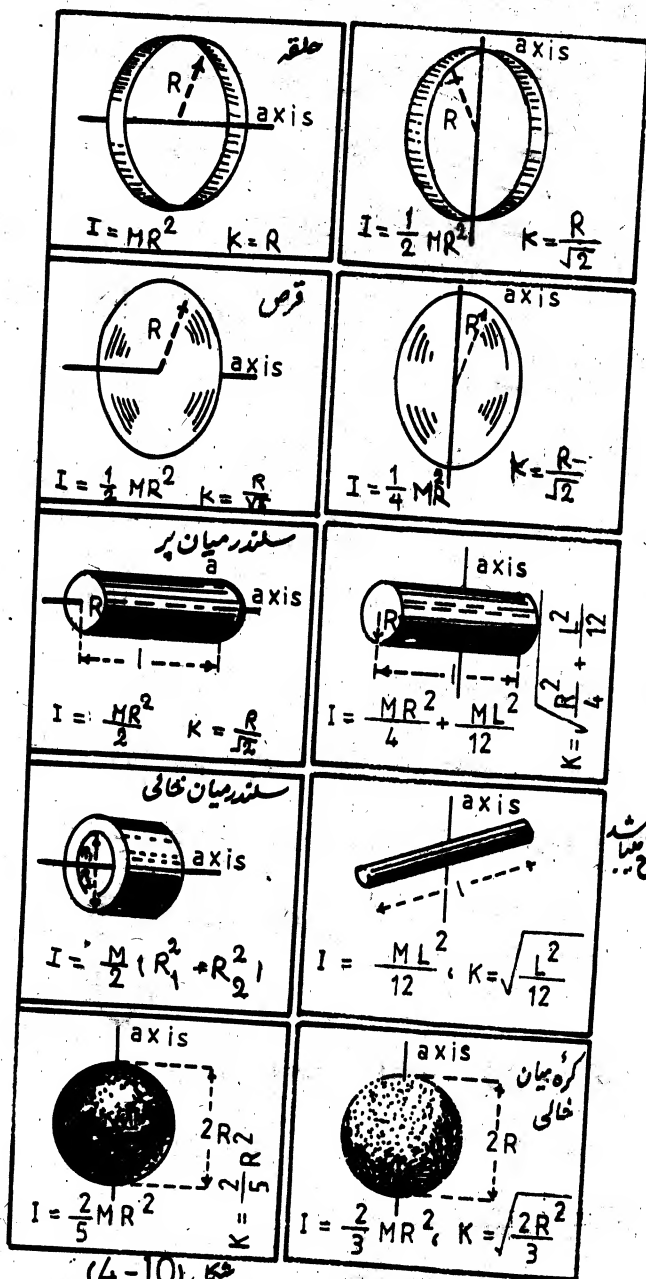
گتده جسم در اینجا تغییر نموده بلکه تنها توزیع گتده ها نظیر به محور دوران تغییر نموده برای اینکه مفهوم مومنت عطالت را خوبتر معرفی نموده باشد لازم است که در شکل قبلی (8-4) گتده های  $m$  را مسادی فرض نمائیم و معادله 8 را طوری ذیل تکراری نمائیم:

$$I = \sum_{i=1}^{i=n} m_i r_i^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots + m_n r_n^2$$

چون  $m_1 = m_2 = m_n$  است بنابراین

$$I = \sum_{i=1}^{i=n} m_i r_i^2 = nm (r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + \dots + r_n^2)$$

$$I = n \cdot m \frac{r_1^2 + r_2^2 + r_n^2 + \dots + r_n^2}{n}$$



در طرف راست معادله فوق  $n \cdot m$  مقدار

مجموعی کتله ( $M$ ) را نشان میدهد

و قسمت دوم آن  $(\frac{r_1^2 + r_2^2 + \dots + r_n^2}{n})$

عبارت از اوسط مربع فاصل کتله  $M$

از محور دوران میباشد اگر عوض آن

$K^2$  را وضع نماییم داریم:

$$I = MK^2$$

$K$  شعاع دوران جسم

(Radius of gyration)

میباشد. شعاع دوران را میتوان مانند

شعاع یک حلقه قبول کرد که آن حلقه حول یک محور واقع میشود

و محور در مرکز حلقه قرار گیرد. نظریه شعاع دوران

ما را در مونت عطالت یک جسم غیر منظم

تکامل میفایند. در جدول مقابل مونت

عطالت یک تعداد اجسام منظم داده شده.

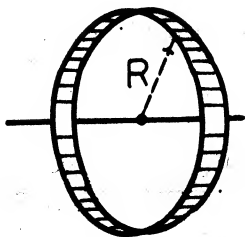
مونت عطالت اجسام مختلف

را در جدول فوق مطالعه نمودیم. بدون احتمال کالکولس عوض تمام اجسام داخل

جدول برای جسم ذیل رابطه مونت عطالت را دریافت می نماییم.

یک حلقه را مانند شکل در نظر میگیریم من فرض میکنیم این حلقه از یک تعداد کتله های مساوی

m ساخته شده باشد و هم این کتده به فاصله R از محور دوران واقع باشد در آن صورت هر توده آن مومنت مساوی را دارا بوده و به اندازه  $mR^2$  میباشد  
بنابر آن برای n حصه این حلقه مومنت عطالت مجموعی مساوی به :



(4 - 11)

$$nmR^2 = MR^2 \text{ میباشد}$$

واحد مومنت عطالت در سیستم M, K, S ،  $kg \cdot m^2$  در سیستم C, G, S ،  $gr \cdot cm^2$  میباشد .

- مثال :

یک توده ثابت ، 24 lb بالای یک جسم مانند شکل (4-12) آویخته شده و آن را بدوران آورده است . چقدر زمان بکار است تا این جسم از حال سکون شروع به حرکت نموده و سرعت آن به  $12 \text{ revolutions/sec}$  برسد اگر شعاع خارجی آن 6 اینچ شعاع دوران آن  $\sqrt{\frac{3}{2}}$  و وزن این قرص 128 lb باشد .

- حل :

- در مرحله اول باید مومنت عطالت این جسم را محاسبه مینماییم .

$$I = MK^2$$

$$M = \frac{128}{32} = 4 \text{ SLug} \text{ کتده جسم}$$

$$K = \frac{3}{\sqrt{2}} \text{ inch} = \frac{3}{\sqrt{2}} / 12 \text{ ft} = \frac{1}{4\sqrt{2}} \text{ ft} \text{ شعاع دوران}$$

$$I = MK^2 = 4 \times \left( \frac{1}{4\sqrt{2}} \right)^2 = \frac{4}{32} \text{ SLug ft}^2 = \frac{1}{8} \text{ Slug ft}^2$$

$$F = 24 \text{ lb}$$

$$\text{شعاع دوران} = 6 \text{ انچ} = 0,5 \text{ ft}$$

$$\tau = F \times r = 24 \text{ lb} \times 0,5 \text{ ft}$$

$$\tau = 12 \text{ lb} - \text{ft}$$

$$\tau = 1 \infty$$

با گذاشتن قیمت  $\tau$  در رابطه اخیر داریم:

$$12 = \frac{1}{8} \cdot \infty$$

$$\infty = 96 \text{ Rad/Sec}^2$$

چون در اینجا سرعت اولیه  $\omega_0 = 0$  و سرعت نهایی  $\omega_1 = 12 \frac{\text{Rev}}{\text{Sec}}$  یا  $12 \times 2\pi \frac{\text{Rad}}{\text{Sec}}$

میباشد بنابراین داریم:

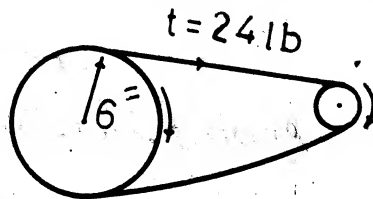
$$\omega_1 = \omega_0 + \infty t$$

$$12 \times 2\pi = 0 + 96 t$$

$$t = \frac{12 \times 2\pi}{96}$$

$$t = \frac{24}{96} \pi$$

$$t = \frac{\pi}{4} = 0,75 \text{ Sec}$$



شکل (12-4)

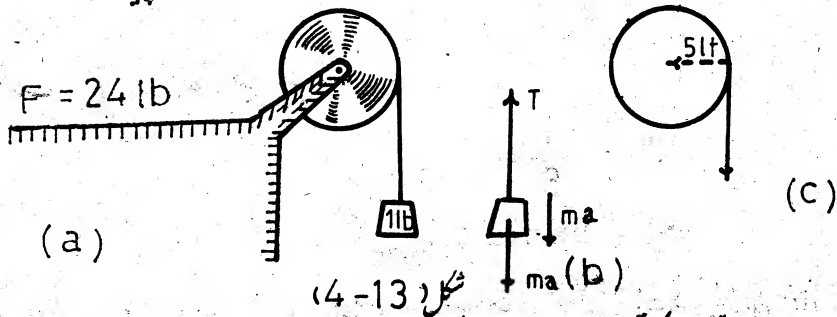
مثال دوم: یک قرص متجانس با شعاع  $0,5 \text{ ft}$  و وزن  $6,4 \text{ lb}$  بالای یک کپسل با بریک های بدون اصطکاک مانند شکل گذاشته شده و یک تار نازک حول قرص مذکور دور خورده

وزن 1,0 lb از انجام دیگر تار اویزان گردیده.

a - Tension - تار را پیدا کنید.

b - تعجیل زاویوی قرص را پیدا کنید.

c - فاصله طی شده توسط وزن یک 1,0 lb را بعد از 4 ثانیه پیدا کنید.



شکل (13-4)

به نظر اول خواهید گفت که تنش در تار یک پوند می باشد زیرا یک 1 lb قوه قرص را به دوران می آورد اما این وقتی صورت میگیرد که قرص بر محور آن ثابت و محکم باشد و دوران نکند. در حالیکه قرص حول محور دوران خود تحت تأثیر قوه یک 1 lb با تعجیل زاویوی  $\infty$  دوران می نماید وزن 1 lb به طرف پایین به تعجیل (a) سقوط می نماید. پرابلم های مربوط به سیستم مرکب میتواند وقتی حل گردد که هر قسمت مربوط این پرابلم را بطور جداگانه مطالعه نمائیم.

مثلاً «شکل (b)» جسم 1 lb تحت تأثیر دو قوه قرار گرفته یکی وزن به طرف پایین (1 lb) و کشش در تار (Tension) به طرف بالا.

چون جسم به طرف پایین حرکت می نماید بنابراین وزن آن بیشتر از قوه Tension میباشد نظر به قانون دوم نیوتن داریم:

$$mg - T = ma$$

$$1 - T = \frac{1}{32} a \quad \dots \dots \dots 1$$

در اینجا  $\frac{1}{32} \text{ slug} \cdot \text{m}$  می باشد.

بطور جداگانه مانند شکل (c)، قرص را مطالوعی نمایم. اگر  $M$  کتد و  $R$  شعاع دوران قرص باشد مومننت عطالت قرص نظریه جدول گذشته  $I = \frac{1}{2} MR^2$  می باشد. تعجیل زاویوی قرص که تحت کشش تار توسط ترک  $\gamma$  حاصل میگردد عبارت از

$$\gamma = 1\infty$$

چون  $\gamma = T \times R$  و  $I = \frac{1}{2} MR^2$  است با تعویض نمودن این قیمت، عوض  $\gamma$  و  $I$  داریم،

$$T \times R = \frac{1}{2} MR^2 \gamma \quad (R = 0,5 \text{ ft}, M = \frac{6.4}{32} \text{ Slug})$$

$$T \times 0,5 = \frac{1}{2} \times \frac{6.4}{32} \times (0,5)^2 \times \infty$$

$$T = \frac{\infty}{20} \dots \dots \dots (2)$$

در اینجا (2)، معادله (3) مجهول (T، a و  $\infty$ ) موجود است بنابراین برای سه مجهول 3 معادله بکار است.  $a = R \infty$  است  
بناء

$$a = 0,5 \infty$$

$$\infty = 2a \dots \dots \dots (3)$$

باگذ داشتن قیمت  $\infty$  در رابط (2) داریم.

$$T = \frac{2a}{20}$$

$$T = \frac{1}{10} a \dots \dots \dots (4)$$

این قیمت T را در معادله (۱)، وضع نموده داریم.

$$1 - \frac{1}{10} a = \frac{1}{32} a$$

$$1 = \frac{1}{32} a + \frac{1}{10} a$$

$$1 = \frac{a + 3,2 a}{32} = \frac{4,2}{32} a$$

$$a = \frac{32}{4,2}$$

$$a = 7,6 \text{ ft} / \text{Sec}^2$$

با گذاشتن این قیمت a در رابطه (۴)، داریم

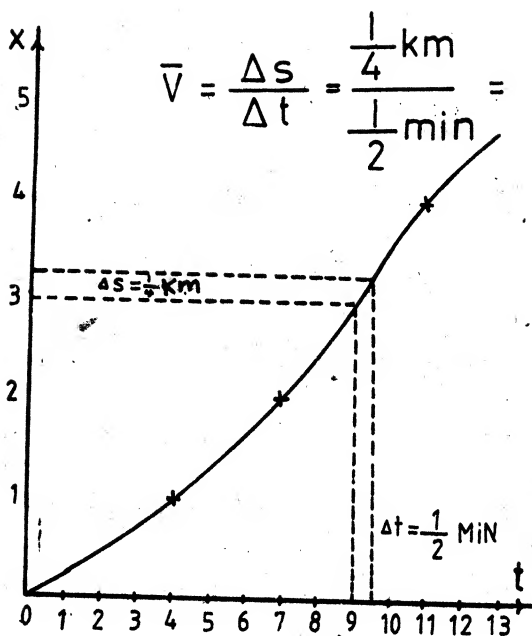
$$T = \frac{7,6}{10} lb = 0,76 lb$$

## 8-۴ کار و انرژی حرکتی دورانی؛

از آن جاییکه برای دوران یک جسم چرخ انرژی بکار است، و یا برای دور دادن یک چرخ باید یک کار انجام شود. لذا واضح است که انرژی حرکتی در یک جسمی که حرکت دورانی دارد مانند جسمی که مستقیم حرکت میکند ذخیره شده میتواند. برای اینکه انرژی حرکتی ( $K_E$ ) یک جسم دوران کننده را اندازه نمایم لازم است تا انرژی حرکتی تمام ذرات آن جسم را پیدا و با هم جمع نمایم برای این منظور به شکل (7-۴)، ضرورت داریم و فرض میکنیم که  $m$  یک کتله کوچک از جسم دوران کننده حول محور دوران باشد. هرگاه این ذره روی محور مستقیم حرکت کند مقدار انرژی حرکتی آن.

$$K_E = \frac{1}{2} m v^2 \text{ می باشد}$$

دلی در یافت مجموع انرژی در تمام ذرات یک چرخ بر حسب  $v$  خیلی مشکل میباشد زیرا سرعت هر ذره مربوط به فاصله آن از محور دوران میباشد. این مشکل را به آسانی رفع کرده میتوانیم اگر انرژی



$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{4} \text{ km}}{\frac{1}{2} \text{ min}} = \frac{1}{2} \text{ km/minute}$$

این مقدار سرعت برای نیم دقیقه بعد از دقیقه نهم بوده اگر مقدار سرعت متوسط در دقیقه نهم را خواست باشیم این فاصله زمانی را به فاصله‌های کوچک زمان مثلا  $\frac{1}{1000}$  حصه یک دقیقه و یا کوچکتر از آن تقسیم نموده سرعت که برای لحظات کوچک یک آنشروال زمان

شکل (1-6)

حاصل می‌گردد بنام سرعت لحظی یا دیفرانسیل برای دریافت سرعت لحظی زمان  $\Delta t$  را پیدا و با گذشت آن فاصله که توسط متحرک درین لحظه طی شده یعنی  $\Delta s$  را نیز پیدا و معادله اثر لحظی را چنین بدست می‌آوریم .

$$v_t = \frac{\Delta s}{\Delta t} \dots \dots \dots 2$$

و متذکره زمان بسیار ، بسیار کوچک باشد یعنی  $\Delta t \rightarrow 0$  به صفر تقریب کند معادله (2) به شکل ریاضی طوری ذیل تحریر می‌گردد :

$$v_t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

واحد سرعت در سیستم M, K, S متر بر ثانیه و در سیستم C, G, S سانتی متر فی ثانیه و در سیستم F, P, S فوت فی ثانیه می‌باشد .

## 5-1 حرکت تعجیلی :

برگاه یک متحرک دارای سرعت ثابت نباشد حرکت آن تعجیلی می‌باشد چون تعجیل تغییر سرعت فی واحد زمان است

(الف)

## مقدمه

الحمد لله رب العلمين و الصلوة و السلام على قائد المجاهدين و المهاجرين

محمد و على اله و صحبه اجمعين .

برادران مسلمان و خوانندگان عزيز !

به همه معلوم است که مبارزه حق و باطل از بدو خلقت بشه در طول تاريخ جريان داشته و هنوز هم جاري ميبارد و هميشه كفرو الحاد در مقابل پيشرفت هاي فرهنگي ، اقتصادي و اجتماعي موانع ايجاد نموده و نگذاشتند که مسلمانان به پاي خود بيايستند و خود کفا باشند . به سلسله نيرنگ هاي نامطلوب کفار نيک استعمارگران ظالم ، جابروسيه روي روسي اين دشمن سر سخت مسلمانان و بشريت کيبار ديگر چهره ناپاکش را براي مردم افغانستان و تمام جهنگان بر طاساخت .

يعني از آغاز تجاوز روس ها بر افغانستان عزيز در پهلوي همه اعمال نامطلوب شان از قبيل به جس کشيدن مسلمانان ، قتل عام ، ريشه کن ساختن همه مرامه هاي علمي و تربيتي ، تعرض به مقدمات مردم مسلمان ، مجبور ساختن به هجرت ، ويران کردن خانه ها ، مساجد و مکاتب و غيره ميخواهند تمام ذخاير معنوي و مادي مسلمانان را کاملاً از بين برده باشند در نتيجه اين همه زور و ظلم هنوز هم استعمار سرخ نتوانستند که بر تسليمي مردم با ايمان ، شجاع و مجاهد افغانستان موفق گردند و انشا الله موفق نخواهند شد به ملک خداوند جل جلاله در مقابل شان قوت هاي جهادي تقويه يافته و دليرانه و متحد به جهاد خویش ادامه ميدهند . تا اينکه آنها را از افغانستان عزيز کشيده و حکومت اسلامي را در آن ملک برقرار سازند . پس براي پيشرفت ، تقويه و ادامه جهاد لازم مي افتد که در پهلوي تنوير عامه ، نسل جوان افغان را تحت تعليم و تربيه قرار داده و مردم مسلمان افغانستان به خصوص همه علماء ، معلمان و دانشمندان با دود اندیشه مسؤليت بزرگ دارند تا سطح دانش شاگردان عزيز را در روشني اسلام بلند برده و در صحنه جهاد و هجرت يک سيستم سالم تعليمي

«ب»

و تربیتی مورد نیاز مردم باورد و مسلمان فغانستان را هیار سازند.

نوشتن این کتاب که جملات آن حتی الامکان ساده و عام فهم بوده یک گام بسیار کوچک در مورد تعلیم و تربیه افغانها میباشد ولی با آنهم ممکن است این کتاب غلطی های داشته باشد به هر صورت از خوانندگان محترم امید داریم تا ما را در تصحیح این کتاب راهنمایی نموده و هر نوع انتقاد و صلاحی که داشته باشند با ما در میان بگذارند.

در آخر از برادران محترم محمد رحمن "رحیمی" و سید محمد خان معلمین فزیک لیسه تجربوی ماینس آی، آره، سی و محترم محمد خلیل معلم لیسه مید جمال الدین اظهار امتنان می نمایم که در خواندن و تصحیح این کتاب با من همکاری نموده اند همچنان از محترم غلام نبی "احمدزی" و عبد الله خان شکری نمایم که در خطاطی و رسمای این کتاب با من بهمیم میباشند.

ومن الله التوفیق

محمد هاشم شهیدی.

(الف)

# فهرست

صفحه

عنوان

## فصل اول

۱	حرکت مستقیم الخط
۱	حرکت دسکون
۲	سرعت و تیزی
۳	مسیر و جهت حرکت
۴	حرکت با سرعت ثابت (حرکت یکنواخت)
۶	سرعت متوسط و سرعت لحظی
۹	حرکت تعجیلی
۱۰	تعجیل متوسط و تعجیل لحظی
۱۲	تعجیل منفی
۱۲	معادلات حرکت تعجیلی یکنواخت
۱۷	سقوط آزاد
۱۹	حرکت تحت تأثیر جاذبه
۲۶	حرکت های پرتابی
۲۶	پرتاب افقی
۲۶	پرتاب مایل
۳۱	تمرینات

فصل دوم

قوه و توانین حرکت . ۳۴

چه چیز سبب حرکت میشود ؟ ۳۴

قانون اول نیوتن راجع به حرکت . ۳۴

قانون دوم نیوتن . ۳۷

قانون سوم نیوتن . ۳۸

وزن و کتله . ۳۸

سیستم واحدهات . ۴۰

کشش در تار . ۴۲

حرکت یک جسم که در انجام یک تار بسته شده . ۴۳

a - حرکت بصورت عمودی . ۴۳

b - اگر یک جسم بصورت عمودی و جسم دیگر به شکل افقی حرکت میکند . ۴۵

تمرینات فصل دوم . ۵۰

فصل سوم

کار و انرژی ۵۴

واحدها کار . ۵۵

انرژی حرکتی و انرژی پوتنشیل . ۵۷

انرژی حرکتی . ۵۷

## (ج) فهرست

صفحه

عنوان

۵۹	انرژی پوتنشیل
۵۹	انرژی پوتنشیل جاذبوی
۶۰	بقای انرژی میخانیک در یک دستگاه منفرد
۶۰	مثال سقوط آزاد یک جسم
۶۱	قانون برنولی
۶۳	تطبیق قضیه برنولی
۶۵	سطح مائل
۶۶	طاقت
۶۹	مومنتم
۷۲	حرکت یک راکت
۷۶	تمرینات فصل سوم

## فصل چهارم

۷۹	میخانیک دورانی
۷۹	حرکت بر سیر دایره
۷۹	حرکت یکنواخت بروی سیر دایره
۸۱	سرعت زاویوی
۸۳	تعجیل دتوه جذب به مرکز
۸۷	دوران یک جسم سخت

## (۵) فهرست

صفحه

عنوان

۸۸	ترک و تعجیل زاویوی .
۹۱	مومنّت عطالت .
۹۸	کار و انرژی حرکتی دورانی
۹۹	لول دادن یک قرص و یک حلقه روی سطح مائل .
۱۰۱	مومنتم زاویوی .
۱۰۲	تمرین فصل .

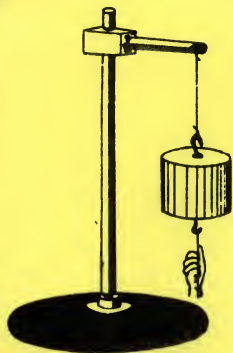
### فصل پنجم

۱۰۶	قانون جاذبه .
۱۱	تطبیق قانون جاذبه .
۱۱۴	پوشیل جاذبوی .
۱۱۷	سرعت گریز .
۱۱۹	تمرینات .

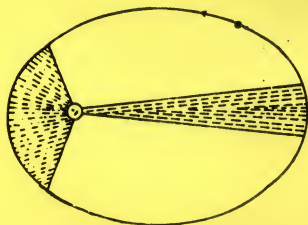
### فصل ششم

۱۱۲	حرکت های ارتعاشی .
۱۱۲	حرکت تحت قوه الاستیکی تجدیدی .
۱۲۴	حرکت نوسانی ساده .
۱۲۶	معادلات حرکت ، سرعت و تعجیل در حرکت نوسانی .
۱۲۹	مشخصات گتده m که در انجام یک فنربسته شده .

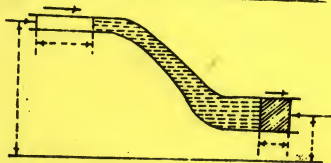
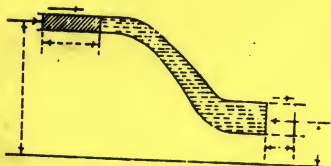
# تَرکیب



برای صنف



۱۲



۱۳۹۷

محمد اسماعیل شهبیدی

۱۳۶	رقاصه بسیط و دریافت زمان تناوب
۱۳۷	ریزونانس
۱۳۸	تمرینات

## فصل بیستم

امواج

۱۴۲	چگونگی ایجاد و انتشار حرکت موجی
۱۴۳	انقسام موج ها - ۱- موج های عرضی
۱۴۴	موج های طولی
۱۴۴	موج های ساکن
۱۴۵	سرعت انتشار موج در یک محیط متجانس
۱۴۶	طول موج
۱۴۶	بررسی وضع اخترازی هر نقطه از محیط انتشار
۱۴۸	تداخل
۱۵۱	محاسبه طول موج
۱۵۴	طول موج در رنگ
۱۵۴	تمرینات

فصل هشتم  
صوت

۱۵۶	امواج صوتی
۱۵۶	امواج طولی
۱۵۷	تولید و انتشار صوت
۱۵۸	سرعت انتشار صوت
۱۶۰	سرعت صوت در جامدات و مایعات
۱۶۱	انعکاس صوت
۱۶۱	انکسار امواج صوتی
۱۶۲	مشخصات صوتی
۱۶۳	دامنه بلندی و شدت صوت
۱۶۳	ارتفاع صوت
۱۶۴	اندازه سرعت صوت به کمک ریز و نانس
۱۶۵	امواج الکترومغناطیسی
۱۶۵	خواص امواج الکترومغناطیسی
۱۶۷	امواج رادیویی
۱۶۸	تمرینات

محمد شمس شهبیدی

# قریپ

برای صنف دوازدهم

مرکز انکشافی تعلیم و تربیه برای افغانها

آی ، آر ، سی

Mohammad Hashim Shahidi

# PHYSICS

For 12th Grade

INTERNATIONAL RESCUE COMMITTEE  
Development Center For Afghan  
Education



March 1989

D.C.A.E. Publication  
Peshawar



این نشریه مخصوص متعلمان مهاجر و مجاهد مر بکف راه آزادی افغانستان عزیز بوده و طور رایگان  
به دسترس شان قرار می گیرد. لذا خرید و فروش آن ممنوع است. حق چاپ مربوط مرکز انکشافی تعلیم  
و تربیه افغانها بوده و چاپ آن به اجازه مرکز مذکور صورت خواهد گرفت.

## پیشگفتار

دست چند سال میشود که مؤسسه خیریه آی، آر، سی خدمات صحی را برای مهاجرین افغان در پاکستان انجام میدهد بنا بر نیازمندی های روز افزون تعلیم و تربیه تنظیم های جهادی، مؤسسات مختلف خیریه و حکومت پاکستان سعی در زبیده اند تا پیشبرد یک سلسله خدمات متمرکز تعلیم و تربیه را برای اولاد مصوم مهاجرین و مجاهدین افغان عمده دار شوند. مؤسسه خیریه آی، آر، سی نیز به نوبه خود در اوایل ۱۹۸۵ تصمیم گرفت تا در بهرکوی خدمات صحی خدمات لازم تعلیم و تربیه را بخاطر ارتقا سطح دانش اولاد مهاجرین و مجاهدین افغان تقدیم دارد بعد از انجام یک سلسله تحقیقات و مشوره با دانشوران و استادان افغانی چنین نتیجه بدست آمد که بمیان آوردن یک مرکز تحصیلی و تربیوی برای استادان لیسه و مکاتب متوسطه و تحریر کتب درسی برای صنوف هفتم و بالاتر از آن اشد ضرورت میباشد.

هدف این مؤسسه عبارت از کمک به اولاد افغان بدون با در نظر داشت هر نوع تبیض بوده مؤسسه سعی می در زد تا پالیسی بیطرفانه خود را در سبیل سیاسی و تنظیمی حفظ کرده بصورت مساویانه مصدر خدمات برای تمام تنظیم ها و مهاجرین افغان گردد. در بهرکوی مشکلات دیگر تحصیلی عدم موجودیت کتاب های درسی خاصتا در صنوف عالی یکی از پرابلم های عمده بوده که دامن گیر مکاتب مهاجرین افغان میباشد. چون مؤسسه در بخش مضامین ساینس و ریاضی استادان در زبیده و تسهیلات لازم داشته لذا تصمیم اتخاذ گردید تا کتابهای ریاضی و ساینس را برای صنف هفتم و بالاتر از آن با در نظر داشت شرایط خاص جهادی و زندگی مهاجرین تحت رهنمائی های دین مقدس هلام و حفظ اساس اصل کلتور افغانی تحریر کرده و بعد از ارزیابی و اصلاحات لازم ذریعه استادان لیسه های مختلف و دانشوران افغانی و کشنری افغان کتابها چاپ شده و بطور رایگان به دبترس متعلین و استادان مکاتب مهاجرین از طریق مؤسسات مربوطه آنها گذاشته شود امید است که خوانندگان محترم از روی همکاری فطریات مفید و مبرخشان شان را به مؤسسه تعلیم و تربیه آی، آر، سی اطلاع دهند به امید موفقیت و همکاری های بیشترتان.

ومن الله التوفیق